



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

Trabajo Fin de Grado

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

ALUMNA

Lucía Barreiro Varela

TUTORES

Diego Crespo Pereira

Vicente Díaz Casás

FECHA

DICIEMBRE 2020

RESUMEN

DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE PASAJE DE 360 PASAJEROS.

En este trabajo se desarrolla el diseño y definición de la estrategia constructiva de un buque de pasaje con el fin de analizar cómo el proceso de fabricación del buque se ve afectado por cambios en la definición de los bloques. Con los resultados obtenidos se pretende comprobar si resulta beneficioso para el astillero considerar la definición de los bloques y el proceso de construcción en fases tempranas del diseño. Para conocer los efectos de modificar la estrategia constructiva se simula el proceso constructivo de los casos de estudio planteados mediante un software de simulación de eventos discretos, FlexSim.

El buque de pasaje objeto de diseño tiene capacidad para 360 pasajeros y 90 tripulante. Los pasajeros se alojan en camarotes dobles, todos ellos exteriores. El buque dispone de servicios de ocio y restauración a bordo para satisfacer las demandas del pasaje. El diseño se realiza de acuerdo con la Sociedad de clasificación DNV-GL, cumpliendo además los convenios internacionales para la seguridad de la vida humana en la mar (SOLAS) y de polución marítima (MARPOL). El buque cuenta con propulsión diésel eléctrica y alcanza una velocidad de servicio de 16 nudos y una autonomía de 6000 millas.

RESUMO

DESEÑO E SIMULACIÓN DA ESTRATEXIA DE COMPARTIMENTACIÓN E CONSTRUCCIÓN DUN BUQUE DE PASAXEIROS CON 360 PASAXEIROS

Neste traballo deselvívese o deseño e a definición da estratexia de compartimentación e construción dun buque de pasaxeiros con fin de analizar como afectan ao proceso de fabricación do buque cambios na definición dos bloques. Cos resultados obtidos preténdese comprobar se resulta ventaxoso para o estaleiro considerar a definición dos bloques e o proceso de construción en fases iniciais do deseño. Para coñecer os efectos de modificar a estratexia de construción, simúlase o proceso constructivo dos casos de estudo plantexados mediante un software de simulación de eventos discretos, FlexSim.

O buque de pasaxe obxecto de deseño ten capacidade para 360 pasaxeiros e 90 tripulantes. Os pasaxeiros irán aloxados en camarotes dobres, todos eles exteriores. O buque dispón de servizos de ocio e restauración para satisfacer as demandas da pasaxe. O deseño realízase de acordo coa Sociedade de Clasificación DNV-GL, cumprindo ademais cos convenios internacionais para a seguridade da vida humana no mar (SOLAS) e de polución marítima (MARPOL). O buque contará con propulsión diésel-eléctrica e alcanzará unha velocidade de servizo de 16 nudos e unha autonomía de 6000 millas.

SUMMARY

DESIGN AND SIMULATION OF THE COMPARTMENTALIZATION AND CONSTRUCTION STRATEGY OF A PASSENGER SHIP WITH 360 PASSENGERS

This work develops the design and definition of the compartmentalization and construction strategy of a passenger ship in order to analyze how the production process is affected by changes in the definition of blocks. The objective is to check whether it is beneficial for the shipyard to consider the definition of the blocks and the construction process in the early stages of the design. The construction process of the different case studies is simulated using a discrete event simulation software, FlexSim, in order to know the effects of modifying the construction strategy.

The passenger ship that is being design has capacity for 360 passengers and 90 crew members. Passengers are accommodated in double-occupancy outside cabins. The ship will have leisure and restaurant services on board to satisfy the demands of the passengers. The design is carried out in accordance with the DNV-GL Classification Society and the international conventions for Safety of Life at Sea (SOLAS) and Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). The ship will be powered by diesel electric propulsion and will reach a service speed of 16 knots and a range of 6000 miles.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO I: MEMORIA

DOCUMENTO II: ANEXOS

ANEXO I - CUADERNO 1: ELECCIÓN DE LA CIFRA DE MÉRITO, DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA MÁS FAVORABLE

ANEXO II – CUADERNO 2: CÁLCULO DE PESOS Y CENTRO DE GRAVEDAD DEL PESO EN ROSCA Y DE SUS PARTIDAS CORRESPONDIENTES

ANEXO III – CUADERNO 3: DISEÑO DE FORMAS

ANEXO IV – CUADERNO 4: CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL

ANEXO V – CUADERNO 5: SITUACIONES DE CARGA

ANEXO VI – CUADERNO 6: PREDICCIÓN DE POTENCIA Y DISEÑO DE PROPULSORES

ANEXO VII – CUADERNO 7: DISPOSICIÓN GENERAL

ANEXO VIII – CUADERNO 8: CUADERNA MAESTRA

ANEXO IX – CUADERNO 9: FRANCOBORDO Y ARQUEO

ANEXO X – CUADERNO 10: DEFINICIÓN DE LA PLANTA PROPULSORA Y SUS AUXILIARES

ANEXO XI – CUADERNO 11: DISEÑO DE LA PLANTA ELÉCTRICA

ANEXO XII – CUADERNO 12: EQUIPOS Y SERVICIOS

ANEXO XIII – PRESUPUESTO BUQUE

ANEXO XIV – TABLAS ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA

DOCUMENTO III: PLANOS

DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y
el Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Documento I

MEMORIA

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 Definición de las necesidades y especificaciones	12
2 Objetivos y amplitud del estudio.....	14
3 Antecedentes	15
3.1 La construcción naval	15
3.2 Proceso de construcción en el astillero	16
3.3 El Astillero 4.0.....	18
3.4 Simulación de procesos industriales	22
3.5 Simulación en el ámbito naval.....	26
4 Estudio de los principales constructores de buques crucero	28
5 Diseño conceptual del buque	34
5.1 Normativa aplicable	37
6 Diseño preliminar del buque.....	38
6.1 Diseño preliminar del compartimentado	38
6.2 Diseño preliminar de la disposición general	41
6.3 Diseño preliminar de la estructura.....	46
7 Estrategia constructiva.....	49
7.1 Caso de estudio 1: Buque proyecto	49
7.1.1 Despiece del buque	49
7.1.2 Secuencia de fabricación y montaje.....	56
7.2 Caso de estudio 2: Modificación del compartimentado	60
7.2.1 Despiece del buque	63
7.2.2 Secuencia de fabricación y montaje.....	64
7.3 Caso de estudio 3: Modificación de las dimensiones principales	64
7.3.1 Despiece del buque	69
7.3.2 Secuencia de fabricación y montaje.....	70
8 Modelo de simulación	71
8.1 Descripción del proceso.....	71
8.2 Análisis de datos.....	72
8.2.1 Estudio de componentes	72
8.2.2 Estudio del proceso constructivo	74
8.3 Descripción del modelo.....	75
8.3.1 Lanzamiento OT	79
8.3.2 Estaciones	81
9 Simulación y resultados	89
9.1 Dimensionamiento de los recursos	89

9.2 Simulación del proceso constructivo del buque proyecto	90
9.3 Simulación Caso de Estudio 2	93
9.4 Simulación Caso de Estudio 3	97
10 Conclusiones	102
11 Bibliografía.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Línea de fabricación de subbloques. (Merino, 2018)	17
Figura 2: Proceso Constructivo en el Astillero. Elaboración propia.....	17
Figura 3: Grado de madurez tecnológica en los astilleros. (Asociación de Centros Tecnológicos de Galicia, 2018)	22
Figura 4: Evolución de la simulación. (Mourtzis D., 2020)	23
Figura 5: Fases de la simulación. (Banks, Carson II , Nelson, & Nicol, 2010)	25
Figura 6: Astillero de Ancona Fincantieri. https://www.fincantieri.com/en/group/world-presence/	28
Figura 7: Plantas productivas astilleros MV Werften. https://www.mv-werften.com/	31
Figura 8: Categorías de Navieras y Cruceros. Fuente: (Turismo, 2013).....	34
Figura 9: Puntos de inundación progresiva. Elaboración propia.....	38
Figura 10: Compartimentado buque proyecto. Elaboración propia.....	40
Figura 11: Sección transversal zona estanca tanques. Elaboración propia.	41
Figura 12: Disposición general buque. Elaboración propia.....	45
Figura 13: Cuaderna Maestra. Elaboración propia.	48
Figura 14: Proceso del despiece del buque. (Castilla Hernández, 2019).....	49
Figura 15: División por zonas y etapas del buque. Elaboración propia.....	50
Figura 16: Gráfica Costes de producción- Tamaño del bloque. Elaboración propia	50
Figura 17: Separación mamparos transversales. Elaboración propia.....	51
Figura 18: Separación Anillos. Elaboración propia	51
Figura 19: Subbloques en función de los tamaños máximos. Elaboración propia	53
Figura 20: Despiece del buque en bloques. Elaboración propia.....	54
Figura 21: Despiece del buque en subbloques. Elaboración propia	54
Figura 22: Subbloque 2411. Elaboración propia.....	55
Figura 23: Ensamblaje de un panel. (Alto University, 2015)	55
Figura 24: Estrategias de montaje en grada. (Kim, Lee, Park, & Lee, 2005)	57
Figura 25: Secuencia montaje de bloques en grada. Elaboración propia	59
Figura 26: Secuencia montaje bloque 1401. Elaboración propia.....	60
Figura 27: Compartimentado caso de estudio 2. Elaboración propia.....	62
Figura 28: Separación por anillos caso 2. Elaboración propia	63
Figura 29: Despiece del buque caso 2. Elaboración propia.....	63
Figura 30: Compartimentado Caso 3. Elaboración propi	68
Figura 31: Separación por anillos caso 3. Elaboración propia.	69
Figura 32: Despiece del buque caso 3. Elaboración propia.....	69
Figura 33: Biblioteca de objetos estándar de FlexSim. Fuente: FlexSim	76
Figura 34: Diagrama de flujo del proceso. Elaboración propia	77
Figura 35: Objetos 3D FlexSim. Elaboración propia.....	79

Figura 36: Process Flow LanzamientoOT. Elaboración propia.	80
Figura 37: Detalle Process Flow asignar etiquetas. Elaboración Propia.	80
Figura 38: Process Flow Fabricación. Elaboración propia.	81
Figura 39 :Custom Code Pull Requirement Prefabricación. Elaboración propia.	82
Figura 40: Ensamblaje Subbloque 2522 en celda de prefabricado. Elaboración propia.	83
Figura 41: Process Flow EstacionPrefabricacion. Elaboración Propia.....	84
Figura 42: Custom Code Pull Requirement UnionSBQ	85
Figura 43: Ensamblaje bloque 1501 celda UnionSBQ. Elaboración propia.	86
Figura 44: Process Flow UnionSBQ. Elaboración propia.	86
Figura 45: Custom Code Pull Requirement MontajeGrada.....	87
Figura 46: Process Flow MontajeGrada. Elaboración propia.....	88
Figura 47: Buque ensamblado en Grada. Elaboración propia.	88
Figura 48: Layout Modelo. Elaboración propia.	90
Figura 49: Desarrollo de la simulación. Elaboración propia.	91
Figura 50: Resultados ocupación operarios prefabricación Simulación 1. FlexSim.	92
Figura 51: Resultados ocupación celdas Simulación 1. FlexSim.....	93
Figura 52: Resultados estados celdas Simulación 1. FlexSim.....	93
Figura 53: Resultados ocupación operarios prefabricación Simulación 2. FlexSim.	95
Figura 54: Resultados ocupación celdas Simulación 2. FlexSim.....	96
Figura 55: Resultados estados celdas Simulación 2. FlexSim.....	97
Figura 56: Resultados ocupación operarios prefabricación Simulación 3. FlexSim.	99
Figura 57: Resultados ocupación celdas Simulación 3. FlexSim.....	100
Figura 58: Simulación Cabinas de pintura. Elaboración propia.	100
Figura 59: Resultados estados celdas Simulación 3. FlexSim.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y desventajas de la simulación. Elaboración propia	24
Tabla 2: Características Astilleros Fincantieri. Elaboración propia	29
Tabla 3: Características Astillero Vard Tulcea. Elaboración propia	29
Tabla 4: Características Meyer Turku. Fuente: Elaboración propia	30
Tabla 5: Características astilleros MV Werften. Fuente: Elaboración propia	30
Tabla 6: Características Astilleros MetalShips & Docks, Hijos de J. Barreras y Brodosplit. Elaboración propia	31
Tabla 7: Características Astillero Tersan. Elaboración propia	32
Tabla 8: Características Navantia Ferrol. Elaboración propia.....	32
Tabla 9: Volumen tanques. Elaboración propia.	39
Tabla 10: Características material. Elaboración propia.	47
Tabla 10: Peso en Rosca. Elaboración propia.....	52
Tabla 11: Porcentaje Prearmamento P1. Elaboración propia.	53
Tabla 12: Superficie cubiertas buque propuesto caso 3. Elaboración propia.....	65
Tabla 13: Superficie camarotes. Elaboración propia.	65
Tabla 14: Número de mamparos transversales. (DNV-GL Pt 3 Ch 2Sec 2)	66
Tabla 15: Resumen despiece del buque. Elaboración propia.....	70
Tabla 16: Tipos de unidades abiertas atendiendo al lugar que ocupan en la estructura. Elaboración propia.	73
Tabla 17: Dimensiones unidades abiertas. Elaboración propia	73
Tabla 18: Dimensiones y peso promedio bloques y subbloques. Elaboración propia.	74
Tabla 19: Análisis tiempos operaciones de ensamblaje. Elaboración propia.	75
Tabla 20: Posibles configuraciones modelo. Elaboración propia.	89
Tabla 21: Características Simulación 1. Elaboración propia.....	91
Tabla 22: Características Simulación 2. Elaboración propia.....	94
Tabla 23: Características Simulación 3. Elaboración propia.....	98

1 DEFINICIÓN DE LAS NECESIDADES Y ESPECIFICACIONES

El sector de la construcción naval se caracteriza por su complejidad y una fuerte competencia internacional. Esto origina que los astilleros deban estar actualizándose constantemente para mejorar y resultar más competitivos. La construcción de buques de pasaje resulta especialmente compleja y los grandes astilleros europeos especializados en este tipo de embarcaciones acaparan casi la totalidad de la producción mundial lo que dificulta la entrada de nuevos astilleros en el sector. Por tanto, antes de que un astillero no especializado en la construcción de buques de pasaje acepte enfrascarse en un proyecto de estas características debe analizar con detenimiento su capacidad de ingeniería y producción para conocer las mejores estrategias para llevarlo a cabo. La implantación del Astillero 4.0 y la simulación permiten desarrollar un método de planificación basado en la creación de un modelo 3D del astillero donde se puedan probar alternativas de los planes de producción y conocer los resultados. En este proyecto se aborda la problemática de la definición de la Estrategia Constructiva y sus alternativas, así como su influencia en el diseño preliminar del buque y en el proceso constructivo.

La Estrategia Constructiva define la forma de construir el buque. El método tradicional de abordar el diseño de buques consiste en una fase inicial de ingeniería de diseño y posteriormente otra de ingeniería de producción que define la estrategia constructiva a partir del diseño planteado. En este TFG se abordan ambas tareas de manera conjunta para desarrollar una herramienta capaz de estimar el impacto que tiene el diseño en la fabricación y así avanzar hacia el "diseño para la fabricación". Sin embargo, esto supone aumentar los esfuerzos de ingeniería en las primeras fases del proyecto lo que puede convertirse en todo un reto. Por ende, este trabajo busca proporcionar información acerca del efecto que tiene considerar la Estrategia Constructiva en el diseño sobre el proceso y si realmente supone una mejora con respecto a no considerarla hasta que el diseño ha sido totalmente desarrollado. Es decir, este trabajo de consultoría trata de hacer frente a la necesidad del astillero de disponer de la información necesaria para hacer frente al proyecto de construcción de un buque de pasaje con capacidad para 360 pasajeros y facilitar la toma de decisiones sobre la asignación de recursos de ingeniería en las diferentes etapas del diseño. Para llevar a cabo este estudio se requiere de programas de diseño de arquitectura naval para la realización del diseño preliminar del buque, software de simulación para el desarrollo del modelo 3D, software para aplicaciones de escritorio (procesador de texto, hojas de cálculo) y programa de diseño asistido por ordenador para la realización de planos en 2D. El desarrollo del proyecto requiere conocimientos en área de ingeniería naval y organización industrial.

Las especificaciones del proyecto son las siguientes:

- Diseño preliminar de un buque de pasaje cumpliendo las características establecidas en la RPA: buque crucero con capacidad para 360 pasajeros repartidos en camarotes dobles, al menos el 80% de ellos exteriores, con baño privado y 90 tripulantes. El buque debe diseñarse conforme a SOLAS y MARPOL y debe estar clasificado por el DNV-GL. Debe contar con propulsión diésel-eléctrica y propulsores azimutales. Contará con los equipos e instalaciones habituales en este tipo de buques y alcanzará una velocidad de servicio 16 nudos y una autonomía de 6000 millas.
- Definición de la estrategia constructiva del buque proyecto y de alternativas que permitan alcanzar los resultados deseados
- Modelo de simulación conceptual del astillero capaz de ofrecer una base de análisis sobre el plazo de entrega, ocupación de las celdas y porcentajes de utilización. Las variables del modelo estarán constituidas por las dimensiones y número de productos

intermedios, su ubicación, horas de mano de obra y número de operarios requeridos para llevar a cabo las operaciones de ensamblaje.

Para cumplir con las necesidades y especificaciones del proyecto, en primer lugar, se expondrán los objetivos específicos que se desean alcanzar. Posteriormente, se realizará una fase de documentación y revisión bibliográfica de los antecedentes sobre la construcción naval y el proceso constructivo en el astillero, el Astillero 4.0, la simulación de procesos industriales, la aplicación de la simulación en el ámbito naval y los principales constructores de buques crucero con el fin de conocer el contexto de aplicación. A continuación, se llevará a cabo el desarrollo de la estrategia constructiva y del modelo de simulación y finalmente se llevará a cabo la ejecución de las simulaciones y el análisis de los resultados con el fin de alcanzar las conclusiones pertinentes. Toda la información relativa al desarrollo del proyecto se encuentra recogido en los documentos del proyecto.

2 OBJETIVOS Y AMPLITUD DEL ESTUDIO

El objetivo de este proyecto de fin de carrera es llevar a cabo un estudio que permita conocer los beneficios de considerar la Estrategia Constructiva y el despiece en bloques de un buque de pasaje de 360 pasajeros en fases tempranas del diseño y sus efectos sobre el proceso constructivo del astillero. Para ello se llevará a cabo un diseño preliminar del buque de pasaje siguiendo los requisitos previos de actividad y posteriormente se desarrollará la Estrategia Constructiva del buque proyecto. La Estrategia Constructiva definirá el despiece del buque en productos intermedios y las secuencia de fabricación y montaje de cada componente. Además, se plantearán diferentes alternativas de Estrategia Constructiva en función de si se tienen en consideración las características del proceso de construcción en el diseño del buque o no. Para poder estudiar el proceso de fabricación se desarrollará un modelo de simulación de eventos discretos en el software de simulación FlexSim, que sirva como base de análisis del proceso de ensamblaje de los productos intermedios que conforman el buque. El modelo será empleado para evaluar cómo se desarrolla el ensamblaje de los bloques y deberá permitir estimar los plazos de entrega para los diferentes casos de estudio planteados. El estudio se centra en la etapa de prefabricado. Esta información ha de servir para guiar al astillero en la fase de diseño y facilitar la toma de decisiones en relación a la necesidad de ajustar el diseño del buque a las características del proceso de construcción.

En definitiva, se pretende suministrar información a la empresa sobre las implicaciones prácticas de realizar el diseño preliminar del buque considerando el proceso constructivo y sus efectos sobre la Estrategia Constructiva.

3 ANTECEDENTES

Para poder desarrollar el proyecto, surge la necesidad de conocer el contexto actual de la construcción naval, así como de los estudios previos realizados en relación con la materia a tratar. Por lo cual, se expondrá a continuación un resumen de la información obtenida tras llevar a cabo una búsqueda bibliográfica, cuya función será documentar al lector sobre el contexto actual de la construcción naval, su evolución hacia el Astillero 4.0, el proceso constructivo, la importancia de la estrategia constructiva, y finalmente, el empleo de la simulación en el ámbito naval.

3.1 La construcción naval

La construcción naval es un sector especialmente complejo debido a las particulares características del producto que fabrica, el buque. Cada buque es un producto único y singular con unas formas y características determinadas y diferentes a la de otros buques lo que deriva en el impedimento de aplicar procesos de fabricación en serie. Además, son productos de elevado valor unitario y un alto contenido tecnológico que requieren un largo periodo de fabricación, por lo que los proyectos resultan ser de gran envergadura y complejidad técnica (Suaz González, 2012).

Por otro lado, el mercado también es complejo ya que está sujeto al contexto de los ciclos económicos internacionales, así como a una fuerte competencia internacional. La dura competitividad del sector junto con la rápida evolución de las tecnologías hace que las empresas de construcción naval deban estar innovando constantemente, tanto en las tecnologías que integran y utilizan en sus procesos como en sus métodos para mejorar la productividad, los plazos y la calidad. Por tanto, la organización eficiente del proceso productivo y la integración de las nuevas tecnologías constituyen dos factores claves para la supervivencia de los astilleros (Asociación de Centros Tecnológicos de Galicia, 2018).

La construcción naval ha sufrido a lo largo de su historia importantes cambios en su proceso de fabricación impulsados por la aparición de las nuevas tecnologías y la fuerte competitividad a nivel internacional. Estos cambios han propiciado que se distingan 5 grandes etapas de la construcción naval. Conocer la evolución del proceso de fabricación puede ayudar al lector a comprender la complejidad del proceso de construcción y conocer la situación de los astilleros en la actualidad. Las etapas se describen a continuación (Fernández Rodríguez, 2015):

1. Construcción por sistemas independientes o construcción tradicional: se construía el casco del buque mediante remachado en la. Tras la botadura se llevaba a cabo el armamento. No se iniciaba una etapa hasta no haber terminado la anterior lo que resultaba en largos tiempo de fabricación y numerosos cuellos de botella.
2. Fabricación por bloques y armamento por sistemas independientes a bordo: esta etapa se desarrolló al comienzo del siglo XX y se caracterizó por el abandono de la técnica del remachado y el comienzo del uso de la soldadura, así como por la fabricación de los bloques (en los que subdividía el buque) en los talleres para montarlos posteriormente en la grada. El armamento continuaba a instalarse a bordo una vez el barco había sido botado. Con este nuevo método se conseguía la reducción del plazo de entrega y la disminución de los costes fijos unitarios.
3. Prearmamento de los bloques del casco: a mediados del siglo XX los japoneses comenzaron a realizar el armamento en los bloques antes de llevar el bloque a la grada, es decir, impulsaron la fabricación por módulos, aunque el diseño inicial del armamento se seguía fabricando por sistemas. Lo que resultó en una notable mejora de los plazos de fabricación.
4. Casco, armamento y pintado por zonas y etapas: de nuevo los japoneses en los años 80 idearon el sistema de construcción integrada de casco y armamento. Lo que implicaba que tanto los bloques como el armamento se realizaba por zonas en vez de

por sistemas. Este cambio se tradujo en una mayor complejidad en el diseño y un mayor esfuerzo de la Oficina Técnica, así como el comienzo de técnicas informáticas como los sistemas CAD/CAM/CAE sin los cuales era imposible llevar acabo el diseño integrado del buque.

5. Construcción robotizada: esta etapa está en vías de desarrollo en diversos astilleros, principalmente de Asia, y constituye una de las fases principales del Astillero 4.0 que veremos en más detalle.

3.2 Proceso de construcción en el astillero

El proceso de construcción en el astillero es un proceso complejo que requiere de la integración de numerosos procesos que se van sucediendo en el tiempo y a través de los cuales van pasando las diferentes partes o Productos Intermedios (PI) en los que se subdivide el buque hasta la completa finalización del buque.

En la actualidad el método de construcción utilizado en la mayoría de los grandes astilleros se denomina **Construcción Integrada** y como expone (Crespo Seijo, Merino Rego, & Cabanas, 2006) se fundamenta en tres pilares:

- División del buque en partes que constituyen por sí solas e independientemente del resto un elemento claro y preciso a fabricar, estas partes son los denominados Productos Intermedios que es “todo aquel elemento elaborado o fabricado por cualquier taller y que va a formar parte del producto final”.
- El proyecto está orientado al producto y al proceso constructivo. El proyecto y la propia construcción del buque se enfocan a zonas y etapas.
- Trabajo simultáneo de casco, armamento y pintado.

La construcción integrada posee ciertas ventajas frente al método de fabricación tradicional como por ejemplo el ahorro del tiempo al realizar un cronograma más compacto con tareas simultáneas en ejecución, uso más eficiente de las instalaciones del astillero, mejora de las condiciones de trabajo y reducción de coste del producto (Castilla Hernández, 2019).

A continuación, se describen los diferentes procesos fundamentales de la construcción de un buque (Fernández Rodríguez, 2015):

1. Elaboración de elementos simples en talleres. Consiste en la fabricación de aquellos elementos que no pueden ser divididos a su vez en elementos de menor entidad. En esta fase participan tanto el Taller de Elaboración y Previas donde se cortan las chapas y perfiles de acero para conformar las previas, paneles, forros y unidades abiertas (UA's) que finalmente constituirán el casco del barco como, el resto de talleres encargados de la fabricación de elementos (taller de tuberos, taller de módulos, chapafina, taller de electricidad, electrónica y armas...)
2. Construcción de bloques. Consiste en la unión de todos los elementos simple para formar conjuntos de mayor envergadura que se irán uniendo unos a otros hasta formar bloques de gran tamaño y con un alto nivel de prearmamento que se montarán posteriormente en grada. Las fases son las siguientes:
 - a. **Prefabricación de subbloques y bloques:** unión y soldadura de la piezas simples de acero elaboradas en el proceso anterior.

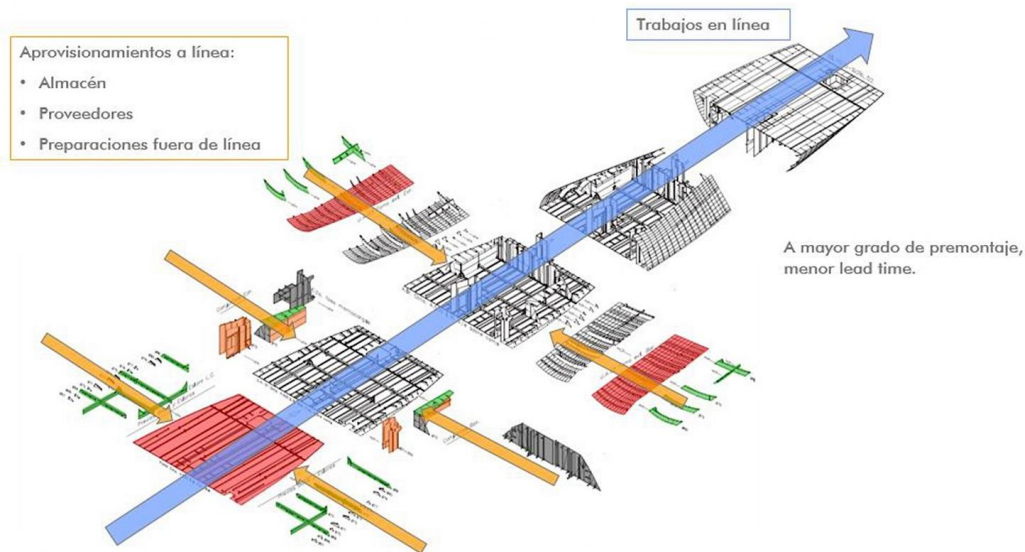


Figura 1: Línea de fabricación de subbloques. (Merino, 2018)

- b. **Prearmamento de fase 1 (P1).** Durante esta fase se añaden a los bloques aquellos elementos que requieren soldadura como por ejemplo tubería, conductos de ventilación, soportes de equipos eléctricos...
 - c. Chorreado y pintado de los bloques
 - d. **Prearmamento de fase 2 (P2).** Se montan a bordo todos aquellos elementos que no necesitan ser soldados. Cuanto mayor sea el nivel de prearmamento menor será el tiempo total de fabricación.
3. Montaje de bloques en la grada: Los bloques se montan en la grada con un alto nivel de prearmamento y se forman las zonas del buque.
 4. Botadura y varada: es la consecuencia de la finalización del montaje en grada de todos los bloques que conforman el casco del buque y la puesta a flote
 5. Armamento por zonas: se realiza el montaje del resto de elementos de armamento no instalados previamente y se lleva a cabo las pruebas funcionales de Sistemas y Pruebas HAT y SAT (pruebas de puerto y de mar).

A continuación, se muestra un resumen del proceso de fabricación:



Figura 2: Proceso Constructivo en el Astillero. Elaboración propia

Toda la información necesaria para llevar a cabo este proceso de fabricación queda recogida al comienzo del proyecto en la **Estrategia Constructiva**. La Estrategia Constructiva es el plan definido por el astillero en las primeras fases del proyecto con objetivo de organizar y optimizar el proceso productivo, minimizando plazos y costes de producción. Define la división del buque en productos intermedios y la clasificación de los trabajos de producción en zonas y etapas.

Como se puede comprobar el despiece del buque en bloques estructurales es fundamental en el proceso de construcción del casco y supone una de las partes fundamentales de la Estrategia Constructiva. El despiece debe de llevarse a cabo buscando la minimización y simplificación de los procesos de fabricación y montaje, siguiendo unos criterios básicos (González De Lema Martínez , 2007):

- Minimizar el número de bloques
- Maximizar el tamaño y peso de los bloques
- Optimizar la situación de los topes entre bloques
- Rigidez estructural del bloque

En (Núñez-Barranco González Elipe, 2004) nos indica que el primer despiece que se realiza es el transversal que tiene en cuenta la distribución de las cubiertas y posteriormente a partir de la disposición general se lleva a cabo el despiece longitudinal. El último paso es descomponer cada uno de los bloques en unidades de menor tamaño. Los bloques han de ser unidos entre sí una vez salgan de los centros productivos correspondiente para formar bloques de mayor tamaño en la fase de prefabricado. El tamaño de los bloques vendrá determinado por las instalaciones del astillero y por la capacidad de izado de las grúas pórtico para su traslado final a la grada. Los bloques suelen ser del orden de 50t a 100t pudiendo llegar a alcanzar las 450 t en astilleros de gran tamaño.

3.3 El Astillero 4.0

El Astillero 4.0 es un proyecto que consiste en la renovación de la estrategia de producción que se fundamente en los principios aplicables del movimiento denominado **Industria 4.0** al ámbito de la construcción naval.

Desde el comienzo de la industrialización, los grandes cambios en las plantas industriales y en la forma de producir han venido marcados por grandes avances en la tecnología, estas grandes transformaciones son conocidas en la actualidad como Revoluciones Industriales. Los autores coinciden en que la Primera Revolución Industrial tuvo lugar a finales del siglo XVIII con la aparición de la mecanización mediante el empleo del agua y del vapor. A comienzos del siglo XX, la Segunda Revolución Industrial fue el resultado de la inclusión de la producción en masa basada en el uso de la energía eléctrica. La automatización de las líneas de producción mediante la implantación de la electrónica y la informática en las plantas industriales trajo consigo al final del siglo XX la Tercera Revoluciones Industrial. Actualmente se está desarrollando una nueva transformación en la industria producida por el avance de las tecnologías de la información y, particularmente, de la informática y del software. Este cambio se basa en el uso de Sistemas Ciber-Físicos (CPS, Cyber Physical Systems) interconectados a través de Internet de las cosas (IoT, Internet of Things) para lograr la implantación de la **Fábrica Inteligente** o Astillero Inteligente en caso de la industria naval, consistente en fábricas más inteligentes, flexibles y dinámicas equipadas con sensores, actuadores y sistemas autónomos (Lu, 2017).

El Término Industria 4.0 fue empleado por primera vez por el Gobierno Alemán en el año 2011 para denominar y difundir esta nueva estrategia. Los objetivos finales de la Industria 4.0 son la consecución de tasas más elevadas de producción y eficiencia, así como un mayor nivel de automatización. Para ello se requiere lograr la incorporación de las tecnologías de la información que permitan la personalización masiva de los productos manufacturados; hacer una adaptación automática y flexible de la cadena de producción; facilitar la comunicación

entre piezas, productos y máquinas; aplicar paradigmas de interacción hombre-máquina (HMI) y lograr la optimización de la producción en fábricas inteligentes (Hock Ang, Goh, & Li, 2016). A pesar de que los astilleros de algunos países como Korea o Japón fueron los primeros en aplicar esta nueva estrategia, el término Astillero 4.0 fue utilizado por primera vez en el año 2015 por el astillero español Navantia para definir la necesidad de la modernización del sistema productivo en el astillero siguiendo las bases de la industria 4.0, “por ser el único sistema que proporcionaba un marco integral que incluía lo digital, pero también el acero, la técnica y las personas” (Criado García-Legaz & Merino Rego, 2018).

La Industria 4.0 surge como respuesta a dos causas principales o dos vías de desarrollo (Lasi, Fettke, Kemper, Feld, & Hoffmann, 2014). Por un lado, en los últimos años ha tenido lugar un importante cambio en la sociedad y en la economía. La tendencia actual del mercado se basa en la personalización o individualización, esto quiere decir que son los clientes los que definen las características del producto y del proceso de compraventa. Para poder hacer frente a estas nuevas necesidades, la industria requiere de periodos de producción más cortos, mayor innovación, mayor flexibilidad durante el desarrollo del producto sobre todo durante la producción, así como de una descentralización de la jerarquía empresarial para poder reducir los tiempos de toma de decisiones. Además, existe una creciente preocupación por el medio ambiente que desencadena la búsqueda de la eficiencia de los recursos. Por otro lado, nos encontramos con un avance vertiginoso de las tecnologías que han permitido la transformación digital de la industria y el aumento de la mecanización y la automatización.

La Industria 4.0 se encuentra definida de diferentes maneras a lo largo de la bibliografía como, por ejemplo, “nuevo modelo de organización y de control de la cadena de valor a través del ciclo de vida del producto y a lo largo de los sistemas de fabricación apoyado y hecho posible por las tecnologías de la información (del Val Román, 2016)”, “la integración de máquinas y dispositivos complejos conectados con sensores y software usados para predecir, controlar y planificar con el fin de lograr mejores resultados sociales y empresariales (Lu, 2017)”, “termino colectivo que designa a las tecnologías y conceptos de la organización de la cadena de valor que une CPS, con IoT” o “Iniciativa estratégica que representa la transformación de las fábricas en fábricas inteligentes capaces de superar todos los desafíos relativos al ciclo de vida del producto, al alto grado de personalización del producto y concede la oportunidad de poder hacer frente a la competencia (Stanic, Hadjina, Fafandjel, & Matulja, 2018)”. A pesar de que existen numerosas definiciones, todos los autores coinciden en que es un término colectivo que designa tanto a un nuevo modelo de organización y producción como al conjunto de tecnologías cuya aparición y aplicación lo hacen posible.

La Industria 4.0 se basa en la aplicación de **Sistemas Ciber-físicos**. Esta tecnología hace referencia a la fusión e interacción del mundo digital (virtual) y el mundo físico (real). Un sistema ciber-físico es aquel sistema físico cuyas operaciones son “monitorizadas, controladas, coordinadas e integradas por un núcleo de computación y comunicación (Rajkumar, Lee, Sha, & Stankovic, 2010)”. Es decir, los CPS son productos inteligentes constituidos por sensores capaces de captar información sobre su entorno y estado dotados de un software que les permite autogestionarse y tomar decisiones descentralizadas, así como de conectividad que les proporciona capacidad de **Comunicación Máquina a Máquina** (M2M) e interacción con los humanos. La digitalización de toda la maquinaria de los talleres permitirá la integración vertical a través de sistemas de información que permitan optimizar el mantenimiento y el consumo energético de las máquinas.

Para los sistemas de producción, la implementación de elementos de la tecnología de sistemas ciber-físicos conduce a sistemas de producción ciber-física (CPPS), que conforman la fábrica Inteligente. Son máquinas con gran capacidad de comunicación máquina a máquina que ofrecen personalización, adaptación al entorno y a nuevas tareas. Además, la comunicación les permite autoconfigurarse para adaptar su funcionalidad en tiempo real a las necesidades del cliente a lo largo de su ciclo de vida. Estos sistemas se conectan unos a otros gracias al **Internet de las Cosas** (IoT) que les permite recolectar e intercambiar información

y que constituye una de las herramientas claves de la Industria 4.0. De esta forma, todos los integrantes del Astillero 4.0, incluyendo personas, productos e instalaciones se encontrarán conectados de forma permanente, tanto dentro del astillero como más allá del mismo.

Debido al aumento del número de datos que requieren ser recolectados y analizados. El **Big Data** se convierte en otra herramienta de vital importancia para el éxito de la implantación de la Industria 4.0. El análisis de los datos permite identificar patrones e interdependencias, analizar el proceso productivo, encontrar ineficiencias e incluso predecir futuros eventos. Todo esto permite mejorar la efectividad, el conocimiento sobre las necesidades de los clientes, y facilita la toma rápida de decisiones al disponer de información sobre todos los aspectos del proceso. Los datos almacenados y procesados deben de ser accesibles online desde cualquier lugar para que toda aquella persona involucrada en el proceso pueda disponer de ellos cuando los necesite. **La Nube** permite este flujo de datos sin fronteras lo que incrementa la flexibilidad y permite conseguir un control dinámico de los procesos y la optimización a la hora de toma de decisiones.

En relación con la gestión de la información y la conectividad, la Industria 4.0 fomenta una **integración** tanto horizontal como vertical en el proceso de fabricación. O con otras palabras “la inteligencia y la digitalización se integran desde la adquisición de materia prima hasta el sistema de fabricación, el uso del producto y el final de la vida útil del producto (Lu, 2017)”. Es decir, se busca tanto la integración y conexión de todos los sistemas de la fábrica, como de todas las áreas de la unidad productiva (talleres, oficina técnica, recursos humanos, oficina comercial...), al mismo tiempo que también se permite la conexión a través de plataformas digitales entre la empresa y otros actores de la cadena de valor (proveedores, sistema de logística y transporte, llegando hasta el cliente...). Como resultado de la integración de todos los elementos de la cadena de valor a través de internet, la computación en la nube y las plataformas digitales surge la necesidad de desarrollar mecanismos de **Ciberseguridad** capaces de detectar, anticipar y neutralizar amenazas sobre los sistemas de información de las empresas.

Otra de las herramientas clave que utiliza la Industria 4.0 para la consecución de los objetivos es el uso de **Robots** o “máquinas inteligentes capaces de llevar a cabo tareas de forma autónoma, flexible, segura y cooperativa (Kamarul Bahrin, Othman, Nor Azli, & Farihin Talib, 2016)”. La Smart Factory busca incrementar la robótica colaborativa donde los robots interactúan entre sí y trabajan de manera segura al lado de los humanos. En el astillero la robótica se puede emplear para automatizar diferentes tareas, desde las más difíciles y repetitivas, hasta el control de calidad o incluso las administrativas como por ejemplo vehículos autónomos, el proceso de soldadura, corte por plasma, etc. Conseguir esto depende en gran medida de las mejoras que se han producido en la **Inteligencia Artificial** que consiste en el desarrollo de algoritmos que “se nutren de datos y experiencias recientes y se van perfeccionando, habilitando a la máquina con capacidades cognitivas propias de los seres humanos como visión, lenguaje, comprensión, planificación y decisión (Basco, Garnero, Beliz, & Coatz, 2018).

El término **Manufactura Aditiva** alude a la fabricación de objetos tridimensionales a partir de modelos virtuales y ofrece varias ventajas en la Industria 4.0 entre ellas destaca la descentralización de las etapas de diseño y desarrollo del producto. Además, la Impresión 3D permite la producción de componentes individuales muy específicos en lotes pequeños o series cortas o de prototipos, lo que conlleva un aumento de la productividad al no tener que ajustar las máquinas existentes para fabricar estas piezas tan particulares. Las tecnologías de fabricación aditiva ya se están aplicando en la industria naval como por ejemplo para construir modelos de elementos que por su plazo de entrega aún no están disponibles, o para crear pequeños accesorios de formas diversas con gran facilidad. (Moreno Nieto, Casal López, & Ignacio Molina, 2018)

La **Simulación** posee un papel importante en la optimización de los procesos productivo. Consiste en “representar virtualmente el funcionamiento conjunto de máquinas, procesos y personas en tiempo real” (Basco, Garnero, Beliz, & Coatz, 2018). El modelo virtual permite probar y ajustar el proceso productivo antes de ser puesto en marcha con el fin de prevenir fallos, ahorrar tiempo y costos y evaluar el resultado final. De forma que el modelador puede probar diferentes configuraciones en el modelo virtual y una vez determine la configuración virtual óptima, puede plasmarse en la línea física de producción. Además, una vez conocidos los resultados en el mundo real y tras haber recolectado la información pertinente, esta se puede emplear para mejorar el entorno virtual, consiguiendo una colaboración entre la planta real y la virtual para alcanzar una representación más exacta de la realidad. Un factor importante del nuevo Astillero 4.0 es el desarrollo de un gemelo digital del buque, la existencia de este modelo permite al astillero la simulación de nuevos productos y desarrollos de procesos en estaciones de trabajos virtuales (Recamán Rivas, 2018). Por ejemplo, en Astillero Meyer Werft (Alemania), que es el astillero de referencia en la implantación de la Industria 4.0, los modelos virtuales han sustituido por completo los planos, permitiendo optimizar los buques y sus sistemas previamente y simular los procesos productivos con lo que se consigue una importante mejora en la seguridad de las personas, el medio ambiente y el consumo de energía (Asociación de Centros Tecnológicos de Galicia, 2018).

La simulación está relacionada con la **Realidad Aumentada** que es otra herramienta útil que se encuentra en fases tempranas de desarrollo, pero gracias a la cual se espera que se agilice y mejore la toma de decisiones por parte de los trabajadores al tener a su disposición información precisa y de fácil acceso en tiempo real. Como se especifica en (Fraga Lamas, Fernández Caramés, Suárez Albela, & Vilar Montesinos, 2018), no existe de momento una gran aplicación de la Realidad Aumentada en el entorno de la construcción naval, sin embargo, puede ser una herramienta útil en diferentes situaciones como por ejemplo proporcionar información de la planta a los trabajadores, realización de controles de seguridad, ayudar a los operadores durante los procesos de ensamblaje y fabricación con el fin de reducir errores, ayudar a localizar productos o instalaciones, poder visualizar partes de la instalaciones o el buque que no se encuentran a la vista (tuberías, cableado, piezas...), monitoreo del sistema, mantenimiento predictivo o permitir nuevas formas de comunicación.

El Astillero 4.0, por tanto, hace referencia al uso combinado de todas estas estrategias o tecnologías para convertir el astillero tradicional en un astillero inteligente caracterizado por su capacidad de adaptación, el uso eficiente de los recursos, la integración de toda la cadena de valor incluyendo el astillero, los proveedores o los propios clientes. La implantación de este nuevo modelo de fabricación se está produciendo de forma paulatina en los grandes astilleros de todo el mundo debido a las grandes dificultades que supone. En primer lugar, implica una gran inversión por parte del astillero ya que requiere de numerosas tecnologías, así como la mejora de las instalaciones. Por otra parte, surge la necesidad de un cambio en la mentalidad de los trabajadores por lo cual es necesario un programa de educación para que los miembros del astilleros sepan cómo utilizar e implementar las nuevas tecnologías y estrategias.

En la siguiente imagen obtenida de (Asociación de Centros Tecnológicos de Galicia, 2018), se observa la comparación en el desarrollo de algunas de los elementos descritos en Galicia y a nivel internacional lo que ofrece una imagen visual del esfuerzo del sector naval gallego para poder competir a nivel internacional con otros grandes productores en el sector:

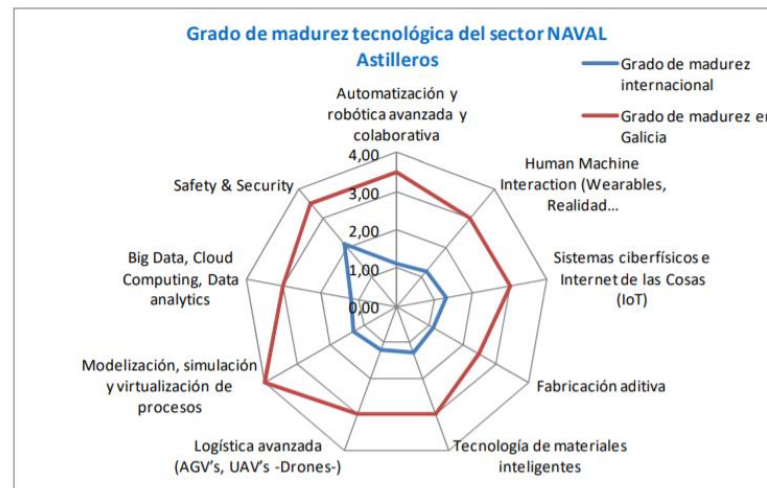


Figura 3: Grado de madurez tecnológica en los astilleros. (Asociación de Centros Tecnológicos de Galicia, 2018)

3.4 Simulación de procesos industriales

Como se acaba de ver la simulación es una herramienta clave en la implantación de la Industria 4.0 ya que permite la experimentación y validación de diversas configuraciones de procesos de fabricación o productos facilitando la optimización de los recursos y la toma de decisiones sin la necesidad de perturbar el mundo real.

Existen numerosas publicaciones sobre la simulación y sus aplicaciones en el entorno industrial, como tal se pueden encontrar numerosas definiciones, pero para el trabajo que nos precede nos quedaremos con las siguientes relacionadas con el proceso de fabricación: “La simulación es la imitación del funcionamiento de un proceso o sistema del mundo real a lo largo del tiempo e implica la generación de una historia artificial del sistema y la observación de ese historia artificial para extraer inferencias sobre las características operativas del sistema real que se representado (Banks, Carson II , Nelson, & Nicol, 2010)” y “el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y la realización de experimentos con este modelo con el fin de comprender el comportamiento del sistema y / o evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema (Mourtzis D. , 2020)”. La simulación es una herramienta cada vez más empleada y que en la actualidad está presente en una gran cantidad de ámbitos y sectores diferentes. Entre las áreas de aplicación, por orden de número de publicaciones, destacan (Crespo Pereira, 2013):

1. Scheduling.
2. Ingeniería de procesos y fabricación.
3. Administración de la cadena de suministro.
4. Servicios.
5. Planificación estratégica.
6. Transporte.
7. Dirección de proyectos.
8. Planificación de la capacidad.

Se considera que el concepto de simulación surgió gracias al trabajo del Conde de Buffon quien sugirió el Método de Monte Carlo con el fin de determinar el resultado de un experimento que consistía en pinchar de forma repetida una aguja en una hoja de papel cuadriculada. La evolución de la simulación se puede clasificar en 5 etapas resumidas en la siguiente imagen:

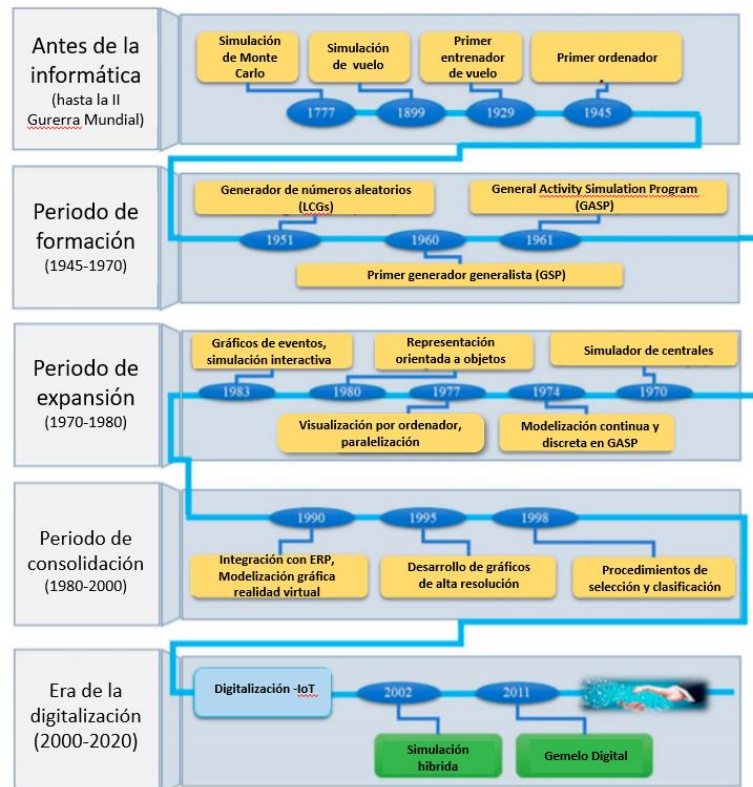


Figura 4: Evolución de la simulación. (Mourtzis D., 2020)

Para clasificar los modelos de simulación existen tres criterios diferentes según (Mourtzis, Doukas, & Bernidaki, 2014):

1. El momento de cambio. Pudiendo ser:
 - 1.1. Simulación estática (independiente del tiempo)
 - 1.2. Simulación dinámica (evoluciona con el tiempo). Esta a su vez puede ser:
 - 1.2.1. Continua si la variable de tiempo es continua
 - 1.2.2. Discreta si los cambios ocurren en puntos discretos en el tiempo
 - 1.2.2.1. Escalonada en el tiempo si los cambios ocurren al paso de una cantidad de tiempo específica
 - 1.2.2.2. Impulsada por eventos si las actualizaciones están vinculadas a eventos programados y los intervalos de tiempo son irregulares
2. Aleatoriedad
 - 2.1. Simulación determinista. Las repeticiones de una misma simulación nos proporcionarán los mismos resultados
 - 2.2. Simulación estocástica. Las repeticiones de una misma simulación no proporcionan las mismas salidas de resultados.
3. Organización de la información
 - 3.1. Basada en mallas. Los datos están asociados con celdas discretas en ubicaciones específicas de la malla y las actualizaciones se llevan a cabo en cada celda de acuerdo con su estado anterior y los de sus vecinos.
 - 3.2. Sin mallas.

Todos los autores coinciden en que la simulación de procesos industriales ofrece una serie de ventajas que hacen frenar a los posibles inconvenientes. A continuación, se muestra una tabla de las principales ventajas y desventajas (Banks, Carson II, Nelson, & Nicol, 2010), (Chung, 2003) y (Shannon, 1998):

Tabla 1: Ventajas y desventajas de la simulación. Elaboración propia

Ventajas	Desventajas
- Permite experimentar sin modificar el sistema real	- La modelización de sistemas requiere formación especial y cada modelador tiene una forma propia de resolver el mismo problema
- Permite experimentar con sistemas que aún no existen	- Los resultados de la simulación pueden ser complejos de entender
- Modelos fáciles de visualizar	- La modelización y simulación puede consumir tiempo y resultar costosa
- Ayuda a responder preguntas del tipo " Que pasaría si...?"	-La simulación por sí misma no ofrece la resolución de los problemas
- Ayuda a entender como funciona realmente el sistema	-Softwares de simulación pueden resultar costosos
- Permite la realización de experimentos para la identificación de "cuellos de botella"	- Los resultados obtenidos pueden no ser válidos si la información de la que se parte no es precisa
- Se puede obtener información sobre la interacción de las variables	- Requiere una gran cantidad de datos
- Se puede obtener información sobre la importancia de las variables en el sistema	
- Hipótesis sobre el sistema pueden ser estudiadas y probadas con facilidad	
- Permite la compresión o expansión del tiempo de ejecución	

A la hora de llevar a cabo la simulación de un modelo es importante conocer los pasos o fases necesarios a la hora de realizar el proceso. Aunque existen pequeñas variaciones entre las etapas de simulación planteadas por unos autores u otros, todas ellas presentan una gran similitud. A continuación, se exponen las fases planteadas por (Banks, Carson II , Nelson, & Nicol, 2010):

1. Formulación del problema: para poder llevar a cabo el desarrollo de un modelo de simulación es necesario comprender bien el sistema y el problema objeto de estudio.
2. Identificación de los objetivos y planificación general del proyecto: a lo largo de esta fase se determinan las preguntas para las cuales hay que buscar respuesta. La planificación general debe incluir las alternativas de estudio y un método para evaluar la efectividad de las alternativas planteadas, así como información sobre los recursos destinados a cada fase de la simulación (personas, costo, días necesarios...) y los resultados esperados al final de cada fase.
3. Conceptualización del modelo: consiste en identificar las características esenciales del sistema, llevar a cabo supuestos básicos que lo caracterizan y construir y modificar el modelo hasta conseguir la obtención de una aproximación útil del sistema real. Una buena práctica consiste en comenzar con un modelo simplificado e ir incrementando su complejidad paulatinamente. Sin embargo, la complejidad del modelo no debe exceder la requerida para cumplir con los propósitos a los que se destina el modelo.
4. Recopilación de información: el objetivo de esta fase es identificar y recolectar los datos de entrada que necesita el modelo.
5. Traducción del modelo: el modelo debe ser ejecutable por un software de simulación.
6. Verificación: consiste en comprobar que el software está funcionando correctamente
7. Validación: Determinar que cualquier inferencia extraída del modelo sobre el sistema real será correcta hasta un nivel aceptable de confianza. A menudo consiste en un proceso interactivo, mediante el cual el modelo se va mejorando hasta obtener una buena representación del sistema real.
8. Diseño experimental: determinar que alternativas deben ser simuladas.
9. Ejecución de simulaciones y análisis de resultados

10. Determinar si es necesaria la realización de más ejecuciones y si la respuesta es afirmativa, llevarlas a cabo
11. Documentación de los resultados obtenidos de una forma limpia y precisa
12. Implementación en el sistema real: una parte importante del éxito de esta fase vendrá determinado por la buena realización de las fases previas del proceso de simulación.

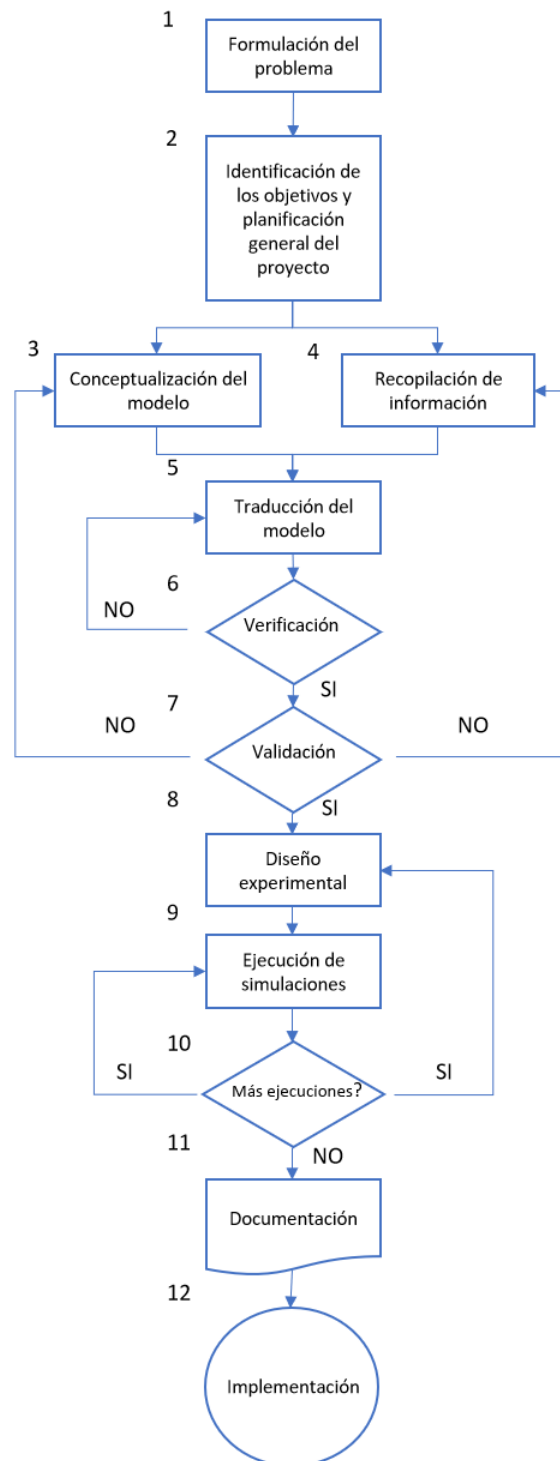


Figura 5: Fases de la simulación. (Banks, Carson II , Nelson, & Nicol, 2010)

3.5 Simulación en el ámbito naval

Como ya se ha visto, la industria de la construcción naval es una industria que ofrece un producto con un largo plazo de entrega ya que la construcción de un único buque tomar meses e incluso años y el periodo de planificación es considerablemente largo (de 3 a 6 meses). Como consecuencia se requiere una cantidad significativa de tiempo para comprobar los resultados del plan establecido lo que dificulta el estudio de los resultados ante cualquier intento de mejora de los planes de producción. Este problema puede simplificarse mediante la introducción de un método de planificación basado en la simulación.

La simulación permite predecir los pasos dados en el proceso de producción real y reconocer situaciones desfavorables, como interrupciones o cuellos de botella en la producción. También es posible monitorear los efectos de los cambios de parámetros en el proceso general antes de que comience la producción en el taller, cuando las correcciones de errores son mucho más difíciles y costosas. Según (McLean & Shao, 2001), el objetivo principal del modelo de simulación para las operaciones de construcción naval es proporcionar datos para respaldar las decisiones de gestión del astillero, que incluyen:

- Análisis del impacto del cronograma debido a proyectos adicionales, diferentes escenarios de producción, etc.
- Identificación de conflictos de recursos laborales por oficio y nivel de habilidad
- Análisis de costos y efectos del ejercicio de horas extra, nuevas contrataciones y / o subcontratistas para cubrir la escasez de mano de obra
- Análisis de las compensaciones de costos de mantener empleados sin trabajo, versus despidos, reconstrucciones y nuevas contrataciones
- Predicción de niveles óptimos de personal basados en ventas y pronósticos de demanda laboral
- Demostración de los resultados esperados de la inserción de nueva tecnología o equipo en el astillero, particularmente con respecto a los costos operativos y el impacto del cronograma
- Visualización visual de la ubicación del trabajo, los recursos y la identificación de limitaciones de recursos y conflictos entre trabajos en competencia (incluidas grúas y montacargas)

Algunos obstáculos de la implementación de la simulación en el entorno del astillero son (Yong Gil Lee, 2020):

- Alta dependencia de los datos de planificación de la producción
- Dificultades en el modelado del proceso de construcción naval basadas en datos de planificación de la producción
- Los astilleros tienen entornos de prueba inadecuados para implementar la planificación basada en simulación
- Dificultad de confirmar la validez de la información recogida
- Complejidad de los modelos

El número de estudios sobre el uso de la simulación para la mejora y optimización de los procesos en el ámbito naval ha aumentado notablemente en la última década. Como señalan (Kim, Lee, Park, & Lee, 2005) y (Ljubenkov, Dukic, & Kuzmanic, 2008), durante la década de los 2000 las investigaciones relacionadas con el sistema de construcción naval basado en simulación y sus aplicaciones aún se encontraban en fase de desarrollo y se centraban principalmente en presentar y fomentar el uso del método de simulación como herramienta para facilitar la toma de decisiones en el proceso productivo. El primero, desarrolló un sistema de simulación de ensamblaje virtual para la construcción naval utilizando un modelo que podía simular y evaluar el funcionamiento de la grúa y el montaje de bloques en un entorno de astillero virtual. El segundo, llevo a cabo un modelo de simulación que incluía todo el taller del astillero (máquinas, herramientas, áreas de trabajo, dispositivos de transporte) y productos (placas, barras y perfiles) y realizó un serie de experimentos para analizar diferentes

soluciones tecnológicas del proceso productivo y poder extraer información que podría ser luego aplicada sobre el sistema real.

Yong Gil Lee (Yong Gil Lee, 2020) hace un repaso bibliográfico sobre alguno de los estudios más representativos del uso de la simulación de eventos discretos en el entorno de los astilleros en los últimos años. Los resultados de estos estudios mostraron que la simulación DES se puede implementar directamente en el diseño del astillero para obtener mejoras significativas de la producción. En este artículo, los autores utilizaron una metodología de planificación de la producción basada en simulación DES para mejorar el proceso de planificación general de la producción.

Tras el estudio de la bibliografía se puede observar que la simulación es una herramienta cada vez más empleada, pero su uso aún se encuentra limitado a ciertas aplicaciones:

- Diseño de la distribución en planta del astillero
- Estudio de la línea de fabricación de subbloques y montaje en grada
- Logística del astillero

El astillero Navantia junto con la Universidade da Coruña han fundado la Unidad Mixta de Investigación UDC-Navantia con la finalidad de implementar las nuevas tecnologías del Astillero 4.0. Una de las líneas de investigación de la UMI es el modelado y simulación de procesos en el astillero gracias al cual se pretende tanto mejorar la productividad de la planta actual, como mejorar el diseño de la distribución de la futura planta. Para ello realizaron un modelo de simulación multi-nivel (nivel agregado y detallado) del Astillero gracias al cual realizaron tres casos de estudio (Rouco Couzo, y otros, 2018): un análisis de una planificación mejorada, un análisis detallado del Taller de Elaboración y Previas y un análisis de la máxima capacidad de la línea de paneles planos. Los experimentos demostraron ser útiles para apoyar la toma de decisiones en fases iniciales del proyecto cuando aún no se dispone de información técnica detallada. Además, se demostró que el modelo permitía mejorar la secuencia de entrada de los bloques, identificar cuellos de botella y analizar el efecto de las variaciones en la capacidad de los recursos sobre el plazo de entrega

4 ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES CONSTRUCTORES DE BUQUES CRUCERO

Con el fin de definir las características del modelo de astillero utilizado para llevar a cabo el estudio del proceso de construcción, se ha llevado a cabo una recopilación de información sobre el mercado de los buques crucero y de los principales fabricantes de este tipo de embarcaciones.

La producción de buques crucero se concentra casi en su totalidad en el continente europeo. El sector de la construcción de buques crucero es un sector complejo que se caracteriza por la necesidad de unas infraestructuras específicas y también una plantilla especial con las habilidades de ingeniería y diseño requeridas lo que dificulta la entrada de nuevos astilleros en el sector.

- Fincantieri

Se trata del principal constructor de buques de pasaje, su sede se encuentra localizada en la ciudad italiana de Sestri y su supremacía en el sector se fundamenta en la posesión de varios centros de producción. En la actualidad está conformado por un total de 21 astilleros situados en varios países, de los cuales 9 están destinados a la construcción de buques crucero. En el año 2018 la producción total de Fincantieri alcanzó la cifra de 85 buques de tipología diversa que fueron construidos en 15 factorías diferentes. Los buques cuya fabricación ha tenido lugar en Fincantieri suponen actualmente un 25% aproximadamente de la flota mundial de cruceros y entre los años 2000 y 2010 se construyeron 37 buques de crucero en total.

Los principales centros de producción de buques de pasaje son Monfalcone, Marghera, Ancona y Sestri Ponente. El astillero de Monfalcone construye buques de grandes dimensiones de hasta 160.000 GT y hasta el año 2020 había entregado un total de 39 buques desde el año de su fundación en 1908. El Astillero de Marghera también está destinado a la construcción de grandes buques crucero de hasta 130.000 GT. En octubre de 2019 entregó su crucero número 29 desde 1991. El astillero de Ancona produjo su primer buque crucero en el año 2009 y ha entregado 10 buques hasta la fechas de hasta 50.000 GT.



Figura 6: Astillero de Ancona Fincantieri. <https://www.fincantieri.com/en/group/world-presence/>

La factoría de Sestri en Génova puede construir buques crucero de hasta 120.000 GT lo que supone un problema dado que es demasiado grande para construir cruceros pequeños y demasiado pequeño para la construcción de mega buques (las dos grandes tendencias de cruceros en el mercado actual).

En la siguiente tabla se muestran de forma resumida las instalaciones y características de los cuatro astilleros vistos hasta el momento.

Tabla 2: Características Astilleros Fincantieri. Elaboración propia

		MONFALCONE	MARGHERA	ANCONA	SESTRI PONENTE
Área total		787.000 m2	378.000 m2	362.000 m2	257.000 m2
Área cubierta		252.000 m2	125.000 m2	68.000 m2	79.000 m2
Taller de prefabricación	Corte	3x máquinas de corte por plamas de paneles, 1x máquina de oxicorte de paneles, 1 x robot de oxicorte para perfiles	2x máquinas de corte por plamas	2x máquinas de corte por plamas, 1x máquina de oxicorte	2x máquinas de corte por plasma, 1x máquina de oxicorte
	Línea de producción de paneles	2x líneas de producción de paneles con sistema de soldadura láser híbrido	sistema de soldadura SAW, 1x micro línea de producción robotizada	1x línea de producción de paneles con sistema MIG-MAG/SAW	1x sistema de soldadura SAW
Pintura/Chorro	Capacidad	3.000 m2	2.500 m2	2.500 m2	1.500 m2
Almacén	Área total	aprox. 25.000 m2	aprox. 22.000 m2	aprox. 6.000 m2	aprox. 16.000 m2
	Dique seco	350x56 m, 160.000 GT	334x54 m, 130.000 GT	240x55 m, 60.000 GT	284x42 m, 120.00 GT
Área de montaje	Capacidad de elevación	2 x grúas pórtico 400 t, 2x grúas pórtico móviles 1.000 t	2x400 t grúas	1x500 t grúa	3x200 t grúas
	1	515 m longitud, 8 m profundidad, 1 x15 t y 1x 20 t grúas.	320 m longitud, 8 m profundidad, 2x 20 t grúas	270 m longitud, 7.5 m profundidad, 1x30 +1x60 grúas	300 m, 2x20 t
Muelle	2	550 m longitud, 8 m profundidad, 3x 15 t grúas	340 m longitud, 8 m profundidad, 2x20 t grúas+ 1x 40 t grúas	110 m longitud, 8 profundidad, 1x40 grúa	250 m
	3				200 m, 1x30 t

Además, en el año 2018 Fincantieri completó la compra de los astilleros noruegos Vard donde puede producir buques de hasta 20.000 GT en sus astilleros europeos y de menos de 5.000 GT en Vietnam. En el año 2019 entregó 5 buques, todos pertenecientes al creciente mercado de los cruceros de expedición. La producción de buques crucero se realiza fundamentalmente en las instalaciones situadas en Tulcea en Rumania cuyas instalaciones se muestran a continuación, en la siguiente tabla:

Tabla 3: Características Astillero Vard Tulcea. Elaboración propia

	VARD TULCEA
Área total	750.000 m2
Muelle	Longitud total
	1.800 m2
	Capacidades grúas
	5x50 + 6x15 t
Syncrolift	Capacidad
	6.500 t
	Manga
	27 m
	Longitud total
	160 m
Salas de montaje	Área
	12.580 m2
	Aberturas
	2x32 me
	Grúas
	2x75 + 4x15 t
Taller de corte y prefabricado	Área corte
	6.750 m2
	Área prefabricación
	9.450 m2
	Área ensamblaje
	1.620 m2
	Límite peso bloques
	100t
Almacén	17.500 m2

Finalmente, Fincantieri también adquirió en el año 2017 el 50% del astillero francés STX France, nombre de los astilleros de Saint-Nazaire, que actualmente poseen el nombre de Chantiers de l'Atlantique.

- Chantiers de l'Atlantique

El astillero francés entregó dos buques por año en los años 2018 y 2019 para las navieras MSC Cruceros y Royal Caribbean.

Cuenta con un dique de construcción de un kilómetro de largo, uno de los mayores diques secos del mundo, una grúa pórtico capaz de izar 1.400 toneladas y una zona de premontaje de 135 metros que permite el ensamblaje de 22 grandes bloques. Ocupando una superficie total de 150 hectáreas.

- Meyer Werft

Meyer ocupa el segundo lugar en el ranking de grandes productores de cruceros. Está compuesto por dos astilleros en Alemania, el principal en Papenburg (que construye buques de 20.000 a 180.000 GT) y uno más pequeño en Warnemunde, que está especializado en buques fluviales de crucero de hasta 15.000 GT, y secciones de megabuques de crucero para

las otras factorías del grupo. Además, a partir del año 2014 también posee el astillero de Turku que le permite construir buques crucero hasta 200.000 GT.

Desde el año 2006 ha construido en Papenburg dos buques por año, salvo en los años 2012, 2013 y 2019 que la cifra ascendió a 3. Su cartera de pedidos incluye cruceros fluviales de 3.000 GT, buques pequeños de 50.000 GT, y megabuques de 180.000 GT. Uno de los puntos fuertes de este astillero es su dominio de la propulsión LNG.

El astillero de Turku ha fabricado 47 buques crucero desde 1972 y entre sus clientes más importantes, destacan Royal Caribbean y Carnival. Su mejor nivel de producción equivale a 3 cruceros por año y sus instalaciones se definen a continuación:

Tabla 4: Características Meyer Turku. Fuente: Elaboración propia

MERYER TURKU	
Área total	144 Ha
Área cubierta	14,5 Ha
Dique seco	365x80
Capacidad de elevación	1x1.200 t, 120 m altura y 1x 1.000 t
Capacidad de transporte pesado	1.000 t
Capacidad de acero	45.000 t/año

Como ya se ha dicho el sector de los cruceros está muy centralizado, esto queda en evidencia al comprobar que Meyer y Fincantieri junto con Chantiers de l'Atlantique abarcarían más del 90% de la cartera de pedidos actual.

- MV Werften

Este astillero fue creado a partir de la necesidad de la naviera Crystal Cruises y Dream Cruises de aumentar su flota. Para ello compró un astillero ya existente en 2016 y creó MV Werften con sede en Wismar, Alemania, e instalaciones en Wismar, Rostock y Stralsund.

Con el fin de ganar experiencia en cruceros, el astillero produjo primero cuatro cruceros fluviales entre 2017 y 2018. En el 2018 también comenzó la construcción de una serie de tres cruceros polares de 20.000 GT cuya construcción finalizará en el 2020 y también se botará un megacrucero de 203.000 GT. Para ello fue necesaria la construcción en Rostock de una nave de 385x90x24 destinada a alojar una línea de construcción de paneles de hasta 25x16 metros. A pleno rendimiento, MV Werften podría construir anualmente dos buques de crucero neo-Panamax de 200.000 GT y un Panamax.

Las instalaciones de estos astilleros destinados a la producción de buques crucero para la compañía naviera se muestran a continuación:

Tabla 5: Características astilleros MV Werften. Fuente: Elaboración propia

	Wismar	Rostock	Stralsund
Área total	560.000 m ²	850.000 m ²	340.000 m ²
Área cubierta	170.000 m ²	85.000 m ²	90.000 m ²
Dique se construcción	340x67x72 m	320x54x80 m	300x108x74 m
Máxima capacidad de elevación	1.000 t	600 t	800 t
Capacidad de acero	60.000 t	55.000 t	60.000 t

Los esquemas de sus plantas productivas se pueden apreciar en las siguientes imágenes de Wismar, Rostock y Stralsund respectivamente:

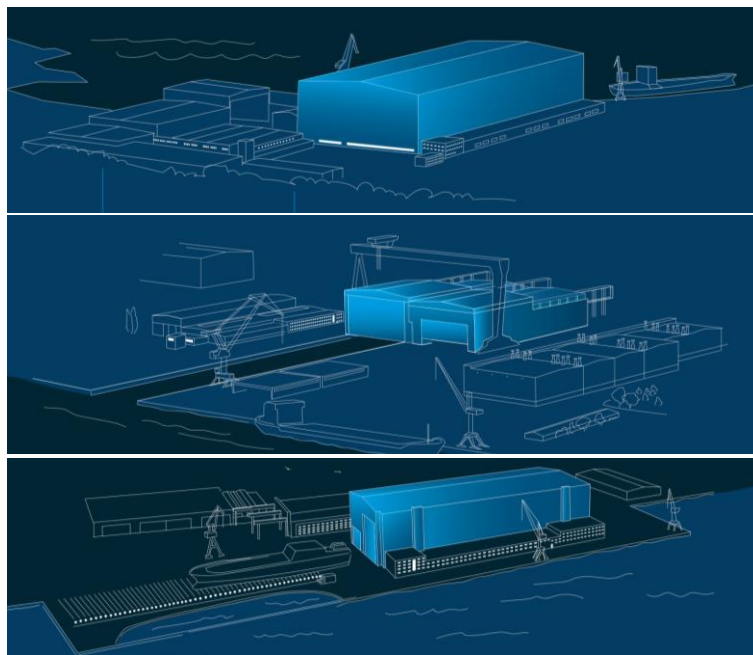


Figura 7: Plantas productivas astilleros MV Werften. <https://www.mv-werften.com/>

- Astilleros de pequeñas dimensiones dedicados a la construcción de cruceros

Aunque la producción de grandes buques de pasaje está acaparada por los cuatro astilleros vistos hasta el momento, la construcción de pequeños buques se ha diversificado en los últimos años, apareciendo varias empresas que han querido aprovechar el “boom” de los buques de expedición y yates de super lujo. Este es el caso del buque Evrima, el primer buque de Ritz-Carlton Yatch Collection que se está construyendo actualmente en el astillero vigués Hijos de J. Barreras y que ha sufrido una importante demora en su proceso de fabricación tras su botadura 9 meses después del comienzo de la producción. Otro ejemplo es el velero Sea Cloud que está siendo construido en Metalships & Docks, también en Vigo. El buque Scenic Eclipse entregado en septiembre de 2019 por el astillero croata Uljanik Shipyard también sufrió importantes retrasos al igual que el buque Flying Clipper encargado al astillero Brodosplit. Como se puede comprobar los retrasos son la norma en los astilleros sin experiencia y es el gran dilema de los armadores de buques pequeños: confiar en astilleros pequeños o esperar un tiempo significativo por un hueco o “slot” libre en un astillero con experiencia.

Tabla 6: Características Astilleros MetalShips & Docks, Hijos de J. Barreras y Brodosplit.
 Elaboración propia

	Metalships & Docks	Hijos de J. Barreras	Brodosplit
Superficie total		120.000 m2	600.000 m2
Varadero		120x17 m, 2.400 t	
Grada	150x38 m	2x 190x50 m	300 m
Panel máximo			13x18 m
Capacidad de elevación	1x140 t + 1x56 t + 1x25 t		
Plataformas transporte	250 t		1x600 t +1x 160t

Otro ejemplo es el astillero turco Tersan Shipyard que tras su ampliación en el año 2008 puede construir buques de hasta 200 metros de eslora y que actualmente se encuentra inmerso en la fabricación de los buques de expedición Havila Polaris de 122.7 m de eslora y 22 m de manga tras que el proyecto le fuera encargado y cancelado posteriormente al vigués Barreas. Este astillero está ubicado en Yalova y sus características son:

Tabla 7: Características Astillero Tersan. Elaboración propia

	Tersan Shipyard
Grada	200x56,5 m
Tiempo promedio montaje en grada	4 meses
Capacidad izado	1x550 t +1x400t
Taller de prefabricación	14.000 m2, carril de 28 m de ancho x 23 m alto, capacidad 300 t
Capacidad acero	50.000 t
Área total producción	44.000 m2

Aunque en el contexto de la construcción naval se ha mencionado la supremacía de los astilleros asiáticos, estos nunca se han aventurado en el sector de los cruceros y en caso de haberlo hecho se han retirado tras la realización de varios intentos fallidos. Por ejemplo, el astillero japonés Mitsubishi construyó ocho buques de tipo crucero entre en las últimas dos décadas, pero tras los malos resultados obtenidos en la fabricación de los gemelos AidaPrima y AidaPerla con varios años de retraso en su entrega, decidió retirarse del mercado.

- Navantia

Aunque el astillero español Navantia no se encuentra especializado en la construcción de buques crucero se decide incluirlo en este apartado debido a su proximidad a Universidade da Coruña y a la buena relación entre la universidad y el astillero patente por la creación de la Unidad Mixta de Investigación UDC- Navantia (UMI).

En sus instalaciones de Ferrol, Navantia posee las siguientes características:

Tabla 8: Características Navantia Ferrol. Elaboración propia

	Navantia Ferrol
Superficie total	682.500 m2
Equipamiento muelles	4.000 m
Máxima capacidad de elevación	400 t
Gradas	1x 200x34 m, 1x 228x43m y 1x 287x53 m
Grúas	2x130 t, 2x100 t, 4x60 t, 12x25 t
Taller acero	10.634 m2
Taller de prefabricación	11.392 m2
Celda de construcción	20x15m

- Astillero del modelo

Tras el estudio de los principales constructores mundiales se observa que estos poseen una infraestructura particular caracterizada por: proceso de producción concentrado y en línea con el fin de evitar desplazamientos innecesarios, grandes capacidades de elevación y transporte con el fin de izar mega bloques de gran tonelaje lo que ayuda a reducir el tiempo de fabricación final y empleo de diques cubiertos para evitar el castigo de las inclemencias del tiempo en numerosos casos (Meyer y MV Werften). Además, la experiencia en el sector supone un punto clave para alcanzar con éxito los objetivos y las tasas de producción suelen encontrarse en torno a 2 o 3 buques crucero por año.

También resulta patente el intento de astilleros de menores dimensiones por hacerse un hueco en el mercado de cruceros de pequeñas dimensiones, aunque la entrada en el sector es compleja y, por tanto, conlleva grandes dificultades y retrasos en los tiempos de entrega.

Con todo esto se decide el empleo de un modelo de astillero de carácter genérico no especializado en la construcción de buques crucero cuyas características serán las siguientes:

- Grada de 190x50 m
- Celda de construcción de 15x20 m
- Máxima capacidad de elevación subbloques 100t
- Tamaño máximo de bloque de 400 t (máxima capacidad de izado)

Aunque el estudio del proceso de fabricación estará centrado en el proceso de ensamblaje de los diferentes componentes del buque, se partirá de un “layout” o distribución de planta de un astillero genérico en él se incluirán los siguientes talleres e instalaciones:

1. Almacén o recepción de material
2. Taller de elaboración
3. Taller de prefabricado de subbloques y bloques
4. Taller de prearmamento P1
5. Taller de chorreado y pintado
6. Taller de prearmamento P2
7. Grada

5 DISEÑO CONCEPTUAL DEL BUQUE

Para poder desarrollar el compartimentado y la estrategia constructiva es necesario, en primer lugar, llevar a cabo el diseño conceptual del buque. El diseño conceptual consiste en plantear las características principales del buque para cumplir las especificaciones, requisitos y necesidades planteadas en la hoja de Requisitos Previos de Actividad (RPA). A continuación, se expone un resumen de las soluciones consideradas para satisfacer los requisitos impuestos.

El buque proyecto consiste en un buque de pasaje también denominado de tipo crucero. Estas embarcaciones se caracterizan por estar destinadas al transporte de pasajeros y ofrecer todas las comodidades para que el pasaje pueda disfrutar de su estancia a bordo. Para ello, los buques están dotados de cómodos camarotes, así como zonas de ocio para que los pasajeros encuentren a bordo todo aquello que puedan necesitar durante el desarrollo de sus vacaciones como por ejemplo tiendas, bares o zonas de baño. En la actualidad, existe una amplia oferta de rutas y viajes en crucero y el diseño del buque debe llevarse a cabo considerando que servicio está destinado a ofrecer. Por ejemplo, el diseño de la disposición general variará significativamente si se trata de un buque crucero para vacaciones familiares donde se dispondrán múltiples zonas de ocio y guarderías para los más pequeños o si es un crucero de lujo pensados para ofrecer un servicio más tranquilo y exclusivo. En la Figura 8 se muestra una imagen donde se recoge una posible clasificación de los tipos de buque crucero en función del servicio y la exclusividad que ofrecen.



Figura 8: Categorías de Navieras y Cruceros. Fuente: (Turismo, 2013)

El principal parámetro que define el diseño de un buque de pasaje es el número de pasajeros que ha de transportar; en nuestro caso este valor se ha establecido en 360 pasajeros. Por tanto, se trata de un buque crucero de pequeña envergadura dado que actualmente los barcos de esta categoría suelen estar enfocados a transportar a un número elevado de personas, existiendo cruceros con una capacidad de carga superior a los 6.000 pasajeros. A diferencia de los buques de pasaje de mayor porte, el crucero que se desarrolla en este trabajo está destinado a realizar el transporte de personas adultas, principalmente parejas o grupos de amigos que buscan disfrutar de unas agradables vacaciones en un entorno tranquilo, pero con múltiples actividades donde poder divertirse y relajarse, huyendo de la tendencia actual de cruceros masificados.

Otro factor que tiene un efecto significativo sobre el diseño del buque es el área en la cual está previsto que navegue. Como no es un requisito presente en la RPA, no se proyecta el buque crucero para navegar en zonas de hielo (zonas árticas y antárticas). Se asume la siguiente ruta en función de la temporada estival: entre los meses de mayo y septiembre el buque está previsto que navegue por el mar Mediterráneo y una vez finalizado el verano en

Europa, el buque comenzará la etapa por el Mar Caribe tras un viaje transatlántico en el mes de octubre. Tanto el mar Mediterráneo como el Mar Caribe son dos de los destinos más solicitados por los pasajeros de buques crucero en la actualidad.

Un requisito del buque es que los pasajeros deben ir alojados en camarotes dobles y que cada camarote debe disponer de un baño privado. Por tanto, se disponen de 180 camarotes que se reparten en las diferentes cubiertas del buque. Se debe tener en cuenta que al menos el 80% de los alojamientos deben de ser exteriores. Cumpliendo con el mínimo establecido por la RPA, el diseño plantea una configuración donde la totalidad de los camarotes es exterior y aquellos que estén ubicados en cubiertas superiores irán dotados de balcón. Existirán camarotes de diferentes categorías, buscando resultar atractivo para un mayor número de personas, pero todos ellos estarán dotados de al menos una cama extragrande, un escritorio, un armario empotrado, mesitas de noche, una zona de descanso con butacas y un baño privado con una bañera, un lavabo doble y un retrete. Además, los camarotes de categorías superiores contarán con balcón, zona de desayuno y plato de ducha. Al mismo con el fin de garantizar el entretenimiento del pasaje se disponen restaurantes, bares, discoteca, spa, gimnasio, centro de estética, tienda y sala de juegos. Además, debido al clima caluroso que acompañará a los trayectos se disponen zonas exteriores de terraza y piscina. Para atender todos servicios, el crucero contará con 90 tripulantes. La habilitación de la tripulación se dispone en cubiertas inferiores. En un buque de pasaje cobra vital importancia separar las zonas de la tripulación y pasaje por lo cual los camarotes de la tripulación quedan reclusos a las cubiertas más bajas por ser las menos valiosas. También es necesario prestar especial atención a las vías de evacuación. Para poder alojar todos los espacios se plantea inicialmente un buque con 10 cubiertas cuya distribución es la siguiente:

- Cubierta 1: espacios de cámara de máquinas y otros locales con servicios auxiliares del buque. Cuenta con una altura entre cubiertas de 4,75 metros para disponer de espacio suficiente para alojar la maquinaria. El resto de cubiertas tendrá una altura de 3 metros.
- Cubierta 2: habilitación de tripulación y servicios de fonda y hotel
- Cubierta 3 (Cubierta principal): Cocina, comedores de tripulación, hospital y camarotes de pasaje.
- Cubierta 4: restaurante, recepción y camarotes de pasaje.
- Cubierta 5, 6, 7, 8: camarotes de pasaje y zonas de ocio como bares o terrazas.
- Cubierta 9: puente de gobierno y camarotes del capitán y jefe de máquinas, además de camarotes de tripulación
- Cubierta 10: gimnasio, spa y discoteca.

Como se puede apreciar la proporción de pasajeros por tripulante es 4/1, por lo que el buque proyecto no entra dentro de la categoría de buque de lujo dado que en este tipo de cruceros la proporción suele encontrarse entre 1 y 2 pasajeros por tripulante. Esto repercute en los servicios que puede ofrecer el crucero. Por ejemplo, en vez de contar con un restaurante en el que el servicio se realice en mesa, contará con un restaurante tipo buffet que requiere menos personal. Por lo que atendiendo al ratio de pasajeros por tripulante y según la Figura 8, el buque puede incluirse en la categoría de buques económicos.

Es un requisito del proyecto que la propulsión sea diésel eléctrica. Este tipo de propulsión se caracteriza por la existencia de uno o varios grupos generadores formados por un motor más un alternador capaz de generar la energía eléctrica que alimenta a un motor propulsor eléctrico al que estará acoplada, mediante una caja de reductoras o no, una hélice. Las ventajas más sonadas de la propulsión diésel eléctrica son las siguientes:

- En el principio de la planta diésel eléctrica no existe ninguna conexión mecánica directa entre el motor y la hélice, lo que da más flexibilidad para la disposición y la situación de la maquinaria, que se puede reorganizar, y conseguir más espacio para los camarote. Esto aumenta la flexibilidad y productividad del barco.

- Mejora el costo del ciclo de vida al reducir el consumo de combustible y el mantenimiento, especialmente cuando hay una gran variación en la demanda de carga.
- Reduce las emisiones contaminantes. Los motores diésel no tienen el mismo nivel de contaminación en todo su rango de trabajo. En el régimen óptimo de operación, el rendimiento del combustible es considerablemente mayor y la contaminación es menor que operando a baja velocidad.
- Las reservas de energía se pueden compartir con el suministro de los servicios a bordo del barco, de modo que decrece la potencia total instalada y al mismo tiempo aumenta la fiabilidad.
- En una planta diésel-eléctrica, el motor de propulsión puede proporcionar en todo momento el par requerido en todo el rango de velocidades por lo que resulta ideal para impulsar una hélice de paso fijo.
- Utilización de propulsores azimutales. Las hélices azimutales se caracterizan por la capacidad de orientar su impulso girando alrededor de un eje vertical, pudiendo hacer el giro completo (360°). Este tipo de propulsores ofrecen una gran maniobrabilidad, que resulta muy ventajoso para los buques que tienen que hacer muchas maniobras a puerto, como es el caso de buques crucero.
- Menos ruido de propulsión y vibraciones, ya que las líneas del eje giratorio son más cortas, los motores primarios funcionan a velocidad fija y el uso de hélices de tracción proporciona menos cavitación debido a un flujo de agua más uniforme.

Los grupos generadores se encontrarán divididos en dos cámaras de máquinas donde se encuentran instalados todos los equipos auxiliares necesarios para la operación de los motores: sistema de refrigeración, sistema de lubricación, sistema de aire de arranque, sistema de combustible y sistema de ventilación y exhaustación. El buque se diseñará para una velocidad de servicio de 16 nudos y la autonomía se establece en 6000 millas por lo que la capacidad de los tanques de combustible, aceite, agua sanitaria...debe ser capaz de satisfacer esta demanda

El buque debe contar con todos los equipos y servicios propios de este tipo de buques: amarre y fondeo, sistema de gobierno y maniobra, generadores de emergencia, planta de tratamiento de aguas residuales, generador de agua dulce, sistema de lastre y achique y sistema contra incendios entre otros. En un buque de esta tipología cobran una gran importancia los equipos de salvamento dado que las personas a bordo del buque no son profesionales con conocimiento sobre las maniobras de evacuación. Al tratarse de un buque de pasaje los equipos de fonda y hotel cobran una gran importancia debido al gran volumen de personas a bordo, así como la necesidad de ofrecer un producto variado y de calidad:

- Cocina: el buque debe disponer de una cocina destinada a cubrir el restaurante principal y los comedores de la tripulación que contiene todos los elementos necesarios en una cocina de tipo industrial. La cocina se dimensionará de forma que puede hacer frente al 50% del pasaje y a un tercio de la tripulación, es decir para 210 comensales e incluirá todos los equipos necesarios como planchas de inducción, hornos, parrillas, planchas, microondas, freidoras, frigoríficos, batidoras, lavavajillas, freidoras, amasadora, peladora, entre otros.
- Gambuzas: debido a que a diferencia de lo que ocurre en restaurantes de tierra, la cocina de un barco de estas características no puede recibir productos frescos a diario por lo que las gambuzas ocupan un espacio importante dentro del buque. En el barco irán dispuestas al lado de la cocina principal y estarán divididas en función de los diferentes alimentos que van a almacenar, así como si se tratan de productos frescos o congelados
- Lavandería: dotada de lavadoras, planchas, máquinas de planchado, secadoras y de un almacén tanto de ropa limpia como de ropa sucia. La función de la lavandería es tanto lavar los textiles del hotel (ropa de cama, toallas, manteles...), la ropa de la

tripulación y también posibles encargos de lavandería del pasaje que supondrían un servicio extra ofrecido en el crucero.

- Bares y discotecas: estas áreas deberán contar con un sistema de refrigeración de las bebidas como por ejemplo nevera, un congelador y una máquina de hielo. Además, de un equipo de iluminación y música en la discoteca.
- Spa, Gimnasio y centro de estética: los servicios presentes en estas instalaciones serán los habituales de estos centros. El centro de estética contará con utensilios de peluquería (lavaderos, secadores, planchas del pelo...) y cuidado personas (centro de maquillaje y depilación). El gimnasio por otra parte estará equipado con las máquinas de ejercicio más comunes (cinta de correr, elíptica, bicicletas estáticas, remo, sala de musculación...). Finalmente, el spa estará dotado de dos salas de masaje privadas dotadas de bañeras hidromasajes y dos piscinas con chorros y cascadas.
- Aire acondicionado: todos los espacios cubiertos del buque cuentan con aire acondicionado para hacer frente a las altas temperaturas que se pueden alcanzar en las zonas de navegación en verano.

5.1 Normativa aplicable

La normativa de aplicación en el diseño y construcción de un buque crucero es numerosa y compleja. A continuación, se enumera la reglamentación que el buque debe cumplir para poder navegar y ser certificado por la sociedad de clasificación pertinente.

- Normas impuestas por la Sociedad de Clasificación DNV-GL. La Sociedad de Clasificación impone numerosos criterios de diseño y construcción, incluyendo criterios para el diseño de la estructura, la selección de los materiales, el cálculo de las cargas, equipos, criterios de estabilidad, criterios especiales para buques de pasaje...
- SOLAS (Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida en el Mar). Su objetivo principal es especificar normas de construcción, equipamiento y explotación de buques para garantizar su seguridad y la de las personas embarcadas.
- MARPOL (Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques) es desarrollado por la Organización Marítima Internacional (OMI) y su objetivo es preservar el ambiente marino mediante la completa eliminación de la polución por hidrocarburos y otras sustancias dañinas.
- Criterios de Estabilidad. Los criterios a cumplir por el buque proyecto se pueden encontrar recogidos en la Disposición 5295 del BOE que aborda la adopción del Código Internacional de Estabilidad sin Avería, 2008 (Código IS 2008) adoptado mediante Resolución MSC 267 (85) y en concordancia con la resolución A.749(18): Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI.
- Convenio Internacional de Líneas de Carga. Establece el cálculo francobordo de los buques tanque mediante compartimentado y cálculos de estabilidad con avería. Las reglas tienen en cuenta los posibles peligros que surgen en diferentes zonas y en distintas estaciones del año.
- Convenio Internacional sobre Trabajo Marítimo (MLC 2006). Establece unas condiciones mínimas de trabajo y de vida para todos los trabajadores de los barcos.
- Normas UNE que regulan el diseño e instalaciones de algunos equipos del buque como aire acondicionado o el sistema de agua sanitaria.

En aquellas materias que son tratadas por más de un reglamento, debe primar la más restrictiva.

6 DISEÑO PRELIMINAR DEL BUQUE

El desarrollo detallado del diseño preliminar del buque se puede encontrar en el Documento Anexos donde figuran los 13 Cuadernos que componen el Anteproyecto. En este apartado de la Memoria se presenta un breve resumen de aquellos factores del diseño que tendrán un mayor impacto sobre la definición de la estrategia constructiva: compartimentado del buque, disposición general y escantillonado de la estructura.

6.1 Diseño preliminar del compartimentado

El primer paso para llevar a cabo el diseño del buque es estimar sus dimensiones principales. Para ello se crea una base de datos de donde posteriormente se extraen las características del buque mediante el uso de líneas de regresión. Con el fin de seleccionar la alternativa más favorable se realiza un proceso de evaluación económica donde se selecciona aquella alternativa que representa un coste menor de construcción menor (Cifra de Mérito). A partir de estas dimensiones principales se hace un estudio preliminar del peso en Rosca y del centro de gravedad del buque (Tabla 11: Peso en Rosca. Elaboración propia) y también se obtiene el plano de formas del buque. Las características del buque que resultan de este análisis son:

$$L_{pp} = 145m$$

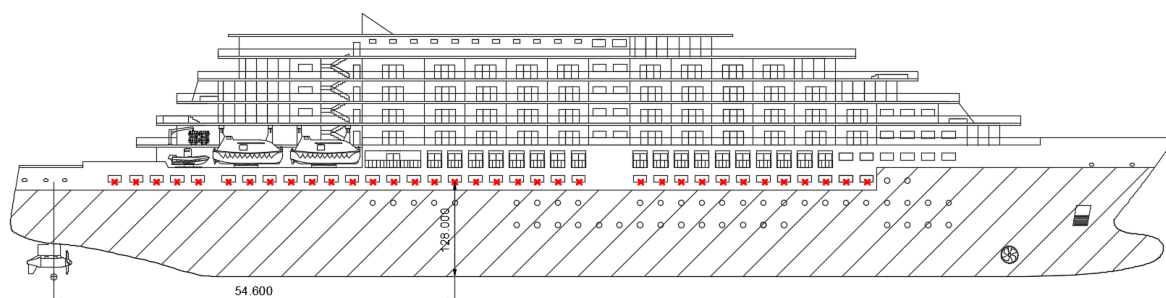
$$B = 24m$$

$$D = 8,8m$$

$$T = 6 m$$

$$Cb = 0,7m$$

A la hora de realizar el diseño preliminar del compartimentado es necesario comenzar definiendo la zona estanca y los puntos de inundación progresiva. La zona estanca del buque es aquella que no dispone de aberturas o en caso de existir alguna, están protegidas por cierres estancos al agua. Los puntos de inundación progresiva son aquellas aberturas no estancas a la intemperie que al sumergirse pueden embarcar agua a la zona estanca, tales como admisiones, ventilaciones, exhaustaciones, accesos no estancos, etc. Tanto la zona estanca como los puntos de inundación progresiva se observan en la siguiente imagen:



Puntos de inundación progresiva	Coordenadas		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Acceso	54,6	12	12,8
Acceso	54.6	-12	12,8

Figura 9: Puntos de inundación progresiva. Elaboración propia.

El siguiente paso es definir la separación entre cuadernas y refuerzos transversales primarios. La separación de cuadernas en buques crucero suele encontrarse entre 600 y 800mm. Por tanto, la separación de cuadernas seleccionada es $s = 700\text{mm}$ y la separación de las bulárcamas será de 4 claras de cuadernas en la zona central del buque, es decir de $700 * 4 = 2800\text{ mm}$, y de 2 claras de cuadernas, 1400 mm, en la zona de popa donde se encuentra el equipo de los azimutales, en la zona de la cámara de máquinas y en la zona de proa.

La separación entre mamparos estancos transversales será el resultado de considerar diversos factores como: número mínimo de mamparos estancos establecido por el DNV (8 mamparos para buques con las características del buque proyecto), distancia máxima y mínima del mamparo de colisión a la perpendicular de proa, necesidad de mamparos que delimiten las cámaras de máquinas y eslora de avería. La separación entre cubiertas se fijará en 3 metros, salvo para la cubierta de máquinas que ascenderá a 4,7 metros y la cubierta 2 que tendrá una altura total de 2,7 metros. El reglamento dispone la necesidad de la existencia de un doble fondo con una altura igual o superior a 1,2 metros. La altura final del doble fondo es de 1,4 metros para facilitar operaciones de mantenimiento de tanques y finalmente se establece un doble casco para reducir los peligros derivados de una posible avería.

El diseño del compartimentado también incluye la definición de los tanques estructurales para transportar los consumibles del buque (aceite, combustible y agua sanitaria), de los tanques destinados a alojar aguas residuales y lastre. Para conocer que dimensiones deben tener los tanques se lleva a cabo una estimación en función de la autonomía del buque y se realiza una disposición preliminar de los tanques. El Software de arquitectura naval MaxSurf permite realizar el calibrado de los tanques y conocer su volumen real, aparte de proporcionar las hidrostáticas del buque y las curvas de brazos adrizantes.

Tabla 9: Volumen tanques. Elaboración propia.

		Volumen necesario (m ³)	Volumen real (m ³)
Combustible	Almacén	920,9	990,474
	Uso diario	64	69,346
	Derrames	13,3	17,951
	Aceite	3,375	18,9
Tanques Misceláneos	Aguas aceitosas	20	26,108
	Lodos	20	26,108
	Agua dulce	604	619,048
	Aguas grises	249,75	286,309
	Aguas negras	33,75	69,643
	Lastre	1605,575	1660,51

El compartimentado del buque proyecto resulta:

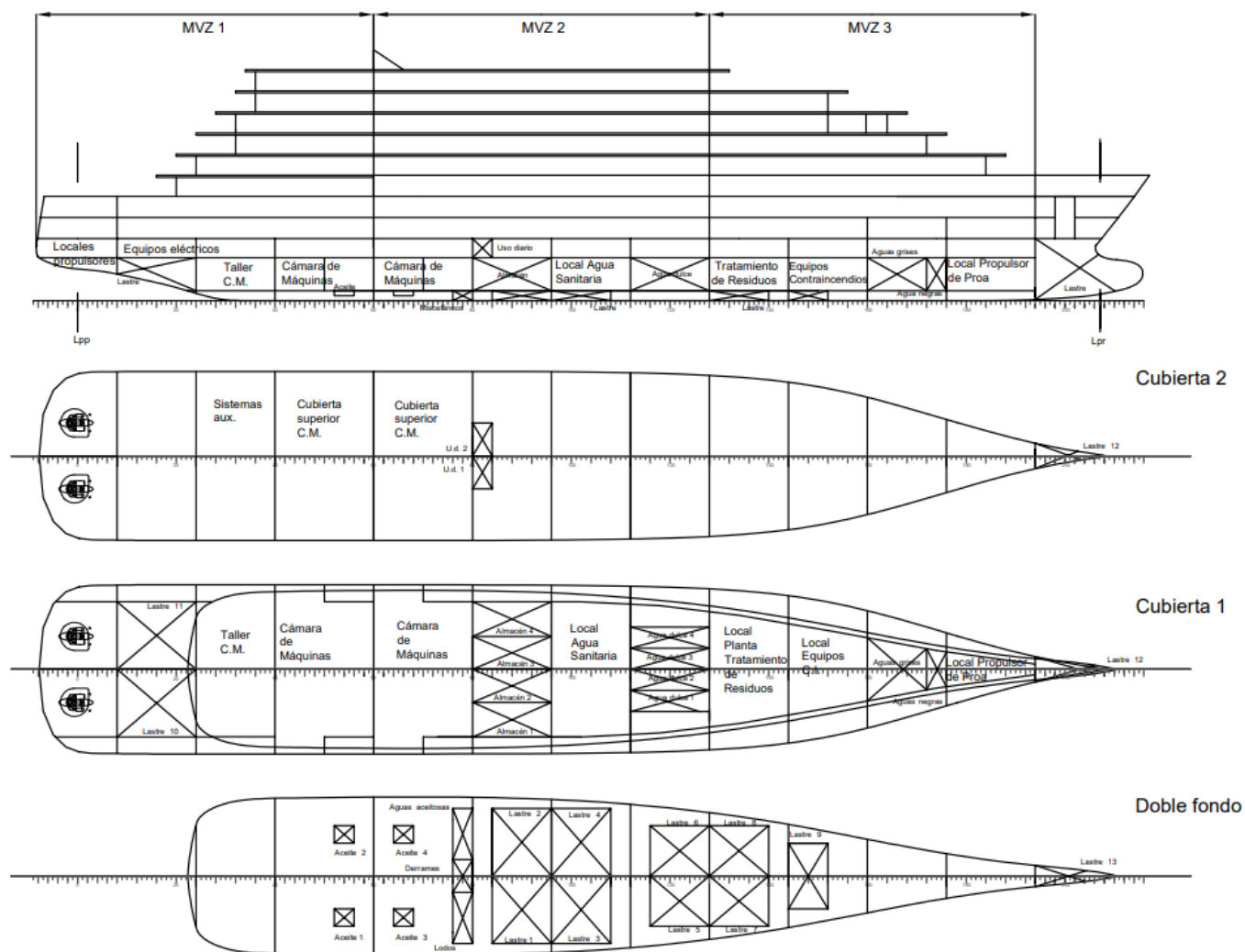


Figura 10: Compartimentado buque proyecto. Elaboración propia

En el Documento Planos se pueden encontrar los planos relativos al compartimentado para una mejor apreciación de los tanques. El proceso detallado de diseño del compartimentado se puede encontrar recogido en el Anexo IV – Cuaderno 4: Cálculos de Arquitectura Naval.

Como se puede comprobar en la Figura 10: Compartimentado buque proyecto. Elaboración propia, el buque queda dividido por 12 mamparos estancos transversales, además de los mamparos que delimitan volumen de tanques. Se dispone un doble casco a una distancia de 2,4 metros del casco exterior para reducir las posibilidades de que se inunde un compartimento entero entre mamparos estancos y además se dispone un doble fondo como establece la normativa. Un mamparo longitudinal debe dividir la cámara de los propulsores azimutales en dos para cumplir el Retorno Seguro a Puerto, de la misma forma que la cámara de máquinas principal queda dividida en dos por un mamparo transversal estanco de clase A-60. Los mamparos estancos transversales que delimitan las zonas verticales principales (MVZ) deben prolongarse hasta las cubiertas superiores. En los espacios entre mamparos estancos se distribuirán los locales necesarios para alojar los equipos auxiliares del buque.

En relación con la disposición de los tanques se comprueba que los tanques de aceite se encuentran repartidos en 4, uno debajo de cada grupo generador ya que cada motor diésel dispone de su propio sistema de lubricación. Los tanques de combustible se encuentran divididos en tanques almacén y a una altura superior los tanques de combustible de uso diario con una capacidad para satisfacer la demanda de combustible durante 24h. Los tanques de agua dulce se encuentran separados de los tanques de combustible y aguas residuales con el fin de evitar filtraciones. En lugar de disponer un único tanque se reparten en varios para reducir los efectos de las superficies libres. Los tanques de aguas residuales se dimensionan teniendo en cuenta la norma UNE-EN ISO 15749, que está acorde con MARPOL. Finalmente, se disponen de los tanques de lastre, aunque el buque ha sido proyectado de forma que el buque no necesita lastre en ninguna condición de navegación como se puede comprobar en el estudio de navegación llevado a cabo en el Cuaderno 5 (Anexo IV). Sin embargo, se disponen varios tanques de lastre por si en algún momento es necesario corregir la escora y el trimado o en caso de emergencia.

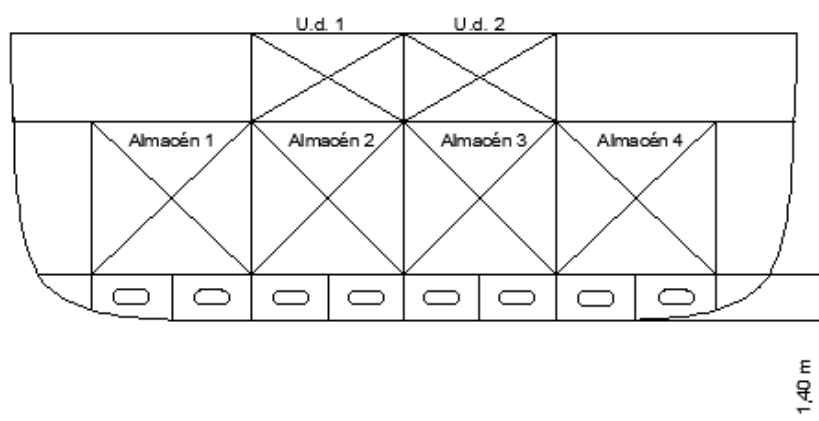


Figura 11: Sección transversal zona estanca tanques. Elaboración propia.

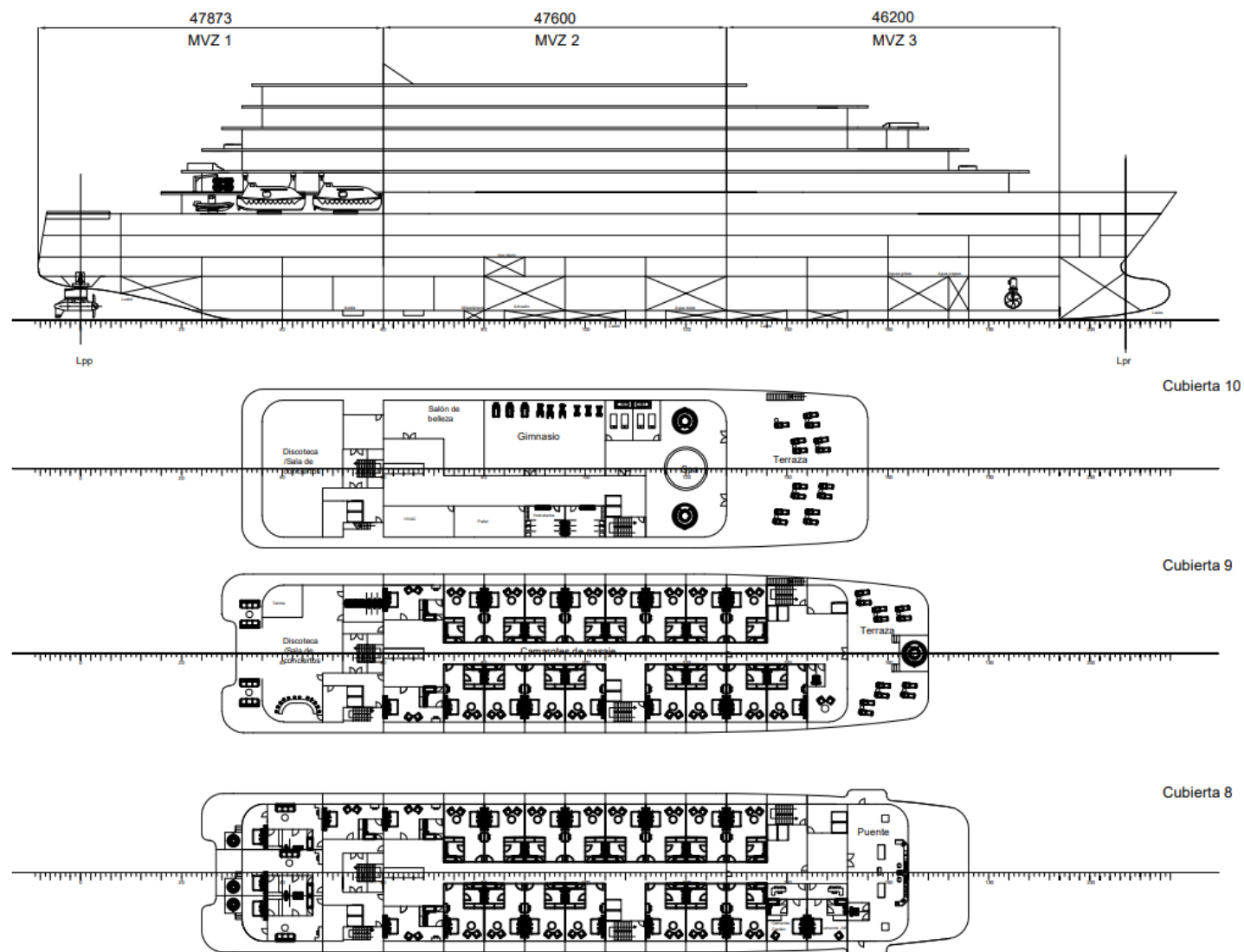
6.2 Diseño preliminar de la disposición general

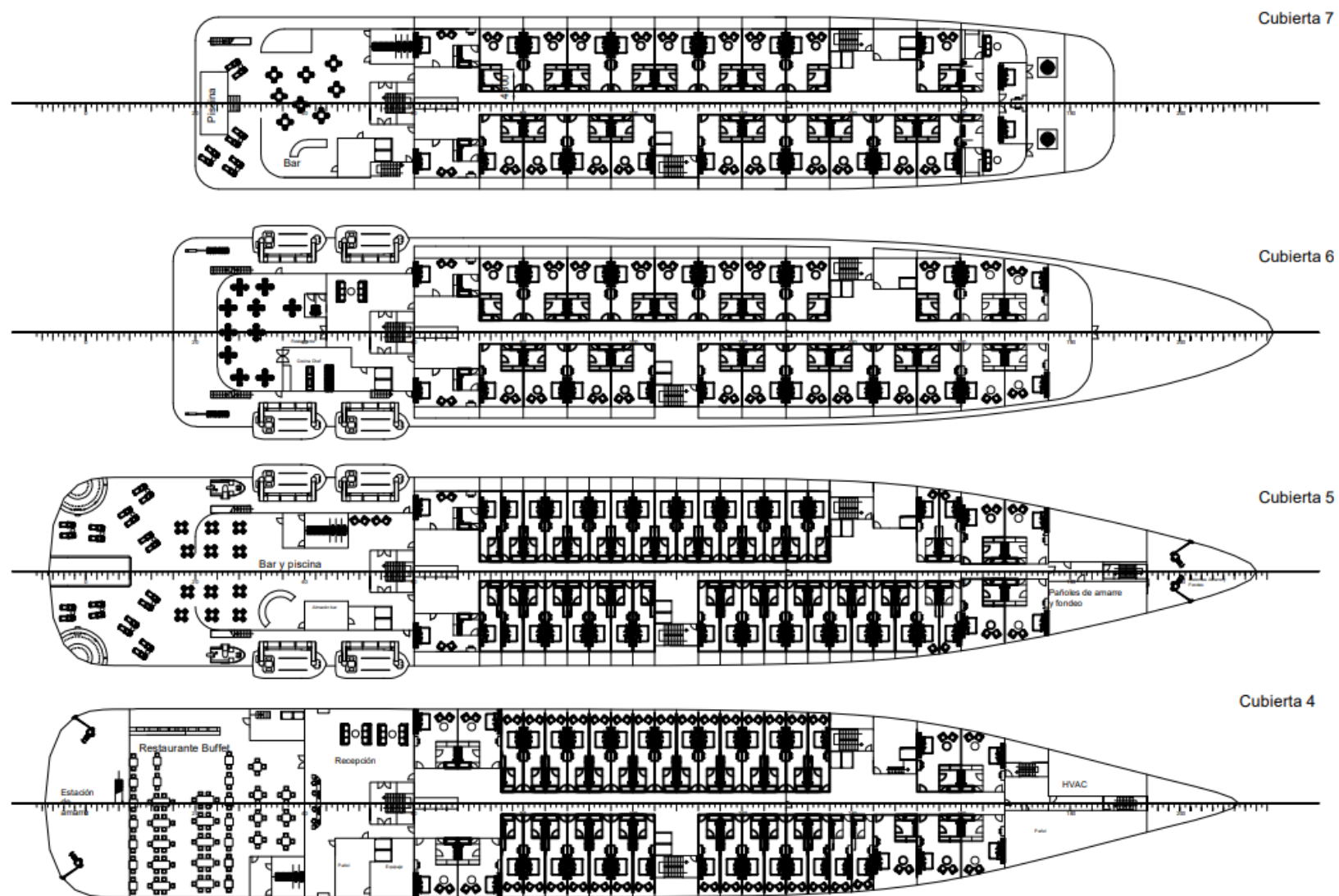
Antes de realizar el diseño preliminar de la disposición general es necesario realizar la división del buque en Zonas Verticales Principales (MVZ, del inglés Main Vertical Zone). Las MVZ deben cubrir todos aquellos espacios que contengan zona de habitación o zona de maquinaria salvo aquellos con poco o nulo riesgo de incendio. Dividen al buque mediante mamparos estancos de clase “A-60” y deben estar en línea con los mamparos estancos principales para lo cual pueden tener una extensión máxima de 48 metros. Cada MVZ debe

tener sistemas de ventilación por lo menos 2 medios de escape donde por lo menos uno de ellos debe dar acceso a un tronco de escaleras que forme un escape vertical. Como la eslora entre perpendiculares es de 145 m ($145/48=3$), es necesario que el buque disponga de al menos tres zonas de fuego. El extremo de proa del buque a partir del mamparo de colisión no será considerado como MVZ al no contener espacios de habitación o maquinaria con riesgo de incendio. Por tanto, las zonas verticales principales quedarán dispuestas de la siguiente manera como también se aprecia en la Figura 10: Compartimentado buque proyecto. Elaboración propia: MVZ 1 (del extremo de popa a la cuaderna 60 con una longitud de 47.873 metros), MVZ (de la cuaderna 60 a la 128 con una longitud de 47.6 metros) y MVZ (de la cuaderna 128 a la 194 con una longitud de 46.2 metros).

Además, al tratarse de un buque de pasaje con eslora superior a 120m y disponer de 3 MVZ hay que aplicar los criterios de Vuelta Segura a Puerto o Safe Return to Port por el cual, a pesar de fuego o inundación, los sistemas esenciales deben permanecer operativos y se debe proporcionar una “Safe Area” para las personas afectadas por el siniestro. Para cumplir con estos requisitos el buque deberá disponer de una cámara de máquinas (C.M.) dividida en 2 por mamparos de clase A, así como de redundancia en determinados equipos y sistemas y la existencia de una Safe Area.

Para llevar a cabo la disposición general es necesario tener en cuenta una serie de factores y normativa. Entre las consideraciones se encuentran el tamaño de los camarotes de pasaje y tripulación que van ubicados entre refuerzos principales, vías de evacuación, espacios de ocio, cubierta de botes y medios de salvamento, troncos de escaleras, zonas de ocio, ancho de pasillos... Toda estos factores se encuentran recogidos en el Anexo VII – Cuaderno 7: Disposición General, así como una descripción detallada por cubiertas.





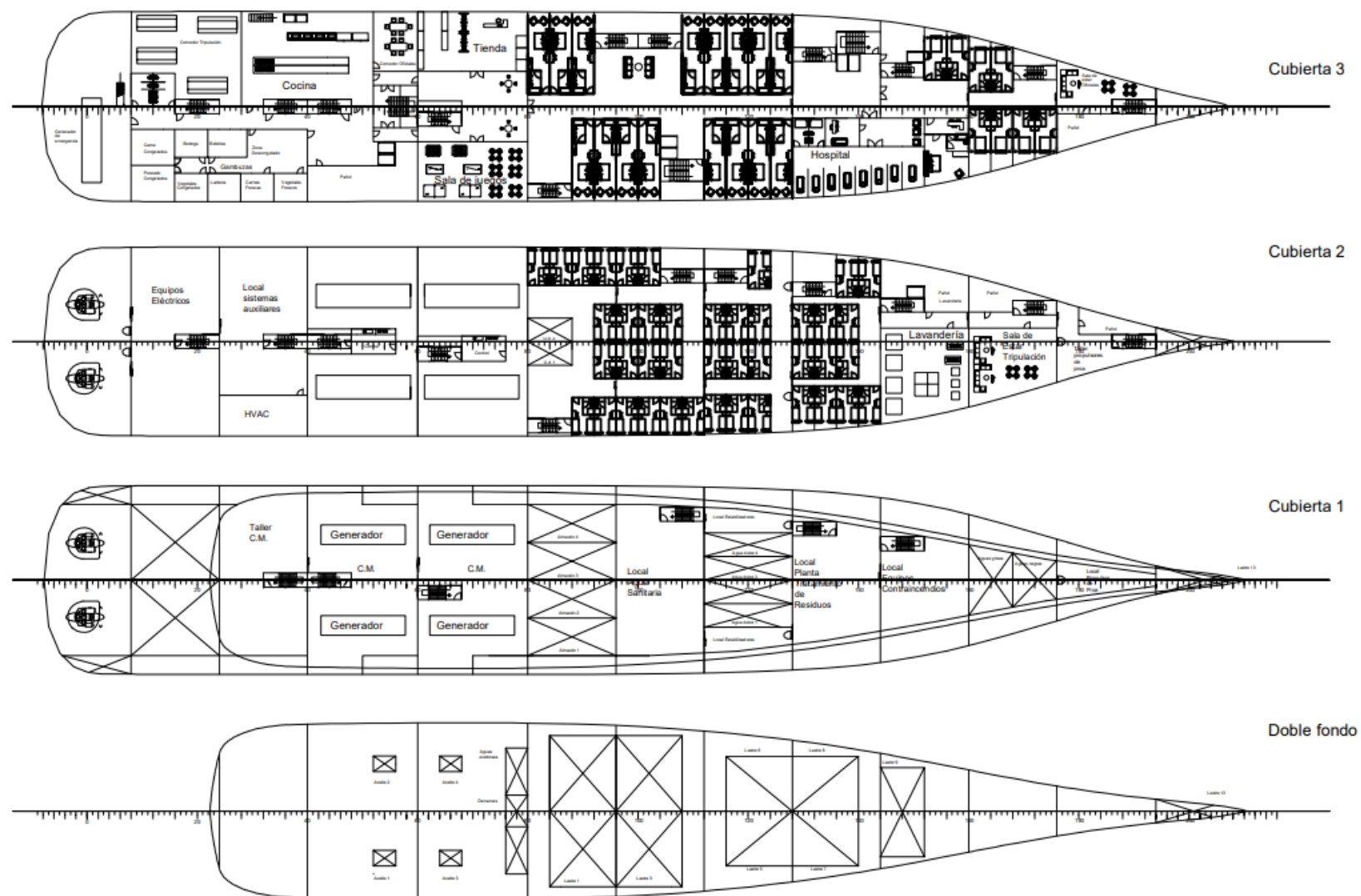


Figura 12: Disposición general buque. Elaboración propia.

En el Anexo X se puede encontrar la disposición de la Cámara de Maquinas que deben de alojar a todos los equipos auxiliares de los grupos generadores.

A la hora de llevar a cabo la disposición general se tuvo en cuenta que la tripulación pudiese acceder a todas sus zonas de trabajo sin necesidad de pasar por zonas de pasaje. Esto, también se hace patente en el uso de las escaleras. El pasaje puede utilizar los tres troncos de escaleras principales, todos ellos ubicados próximos a ascensores, mientras que el servicio debe hacer uso de los ascensores dispuestos especialmente para ellos. Estos ascensores de la tripulación han sido ubicados de forma que permiten llevar la ropa de cama y toallas directamente desde la lavandería a todas las cubiertas otros ascensores ubicados a popa destinados a llevar provisiones a los bares, restaurantes u otras zonas de ocio, así como a la cubierta superior. El acceso al puente también se hace mediante el ascensor ubicado a proa.

Los medios salvavidas, así como el cálculo de los equipos auxiliares del buque se encuentran recogidos en el Anexo XII. Por otro lado, el dimensionamiento del sistema de propulsión se detalla en el Anexo VI y la disposición de cámara de máquinas en el Anexo X.

6.3 Diseño preliminar de la estructura

El diseño preliminar de la estructura llevado a cabo en este trabajo consiste en el escantillonado de la cuaderna maestra del buque proyecto con el fin de asegurar que cumple los requisitos mínimos de resistencia longitudinal establecidos en el reglamento de la sociedad de clasificación, el DNV.

La cuaderna maestra es la cuaderna de la zona media del buque que representa las formas más llenas de este, en la mayoría de los casos coincide con la sección media del buque. En este caso tomaremos como cuaderna maestra la cuaderna número 88 que se encuentra a 61.6 metros de la perpendicular de popa. En los buques existen dos tipos de estructuras. La primera de ellas consiste en la estructura de tipo longitudinal que se caracteriza por la predominancia de los refuerzos en sentido longitudinal (esloras, palmejares o vagras) reforzados transversalmente. El segundo tipo se corresponde con la estructura de tipo transversal en la cual predominan los refuerzos transversales (cuadernas, varengas) y están reforzados por elementos longitudinales. Es habitual hacer una combinación de los dos tipos de estructura (estructura mixta) en función de las necesidades del buque.

A continuación, se detalla el tipo de estructura seleccionado.

- Fondo y doble fondo

Debido a que el buque proyecto tiene una eslora superior a 120 m se dispone una estructura de tipo longitudinal para hacer frente a los esfuerzos de flexión que tienden a parecer en las embarcaciones de estas dimensiones y contribuye a minimizar el peso del acero. Por tanto, los refuerzos predominantes serán las vagras que estarán reforzadas por varengas situadas cada cuatro claras de cuadernas, es decir cada 2800mm coincidiendo con los refuerzos principales de costado o bulárcamas; salvo en las zonas de cámara de máquinas que estarán separadas solo dos claras de cuadernas (1400mm) debido a que estas zonas sufren mayores esfuerzos. Las varengas serán estancas cuando coincidan con mamparos estancos y aligeradas cuando no. Además, las planchas de fondo y doble fondo se reforzarán con longitudinales.

- Costados

Dispondremos de una estructura de tipo longitudinal al igual que el resto del buque, las bulárcamas que conforman los refuerzos primarios irán colocados cada 4 claras de cuadernas (2800mm), salvo por las zonas de cámara de máquinas que irán situadas cada 2 claras de cuadernas, es decir, cada 1400 mm.

- Cubiertas

Las cubiertas tendrán una estructura de tipo longitudinal, lo que ofrece un comportamiento adecuado frente a la flexión del buque viga. Por otro lado, este tipo de estructura facilita el tendido del cableado eléctrico, las tuberías y los conductos de HVAC. Por tanto, la estructura secundaria estará formada por las esloras que se verán reforzadas transversalmente por los baos que conforman la estructura primaria.

Los refuerzos primarios serán de tipo T, mientras que los refuerzos secundarios serán de tipo llanta de bulbo que son los más usados para este tipo de refuerzos en la construcción naval.

Las separaciones entre refuerzos longitudinales se han seleccionado siguiendo una cuaderna maestra de un buque de características similares:

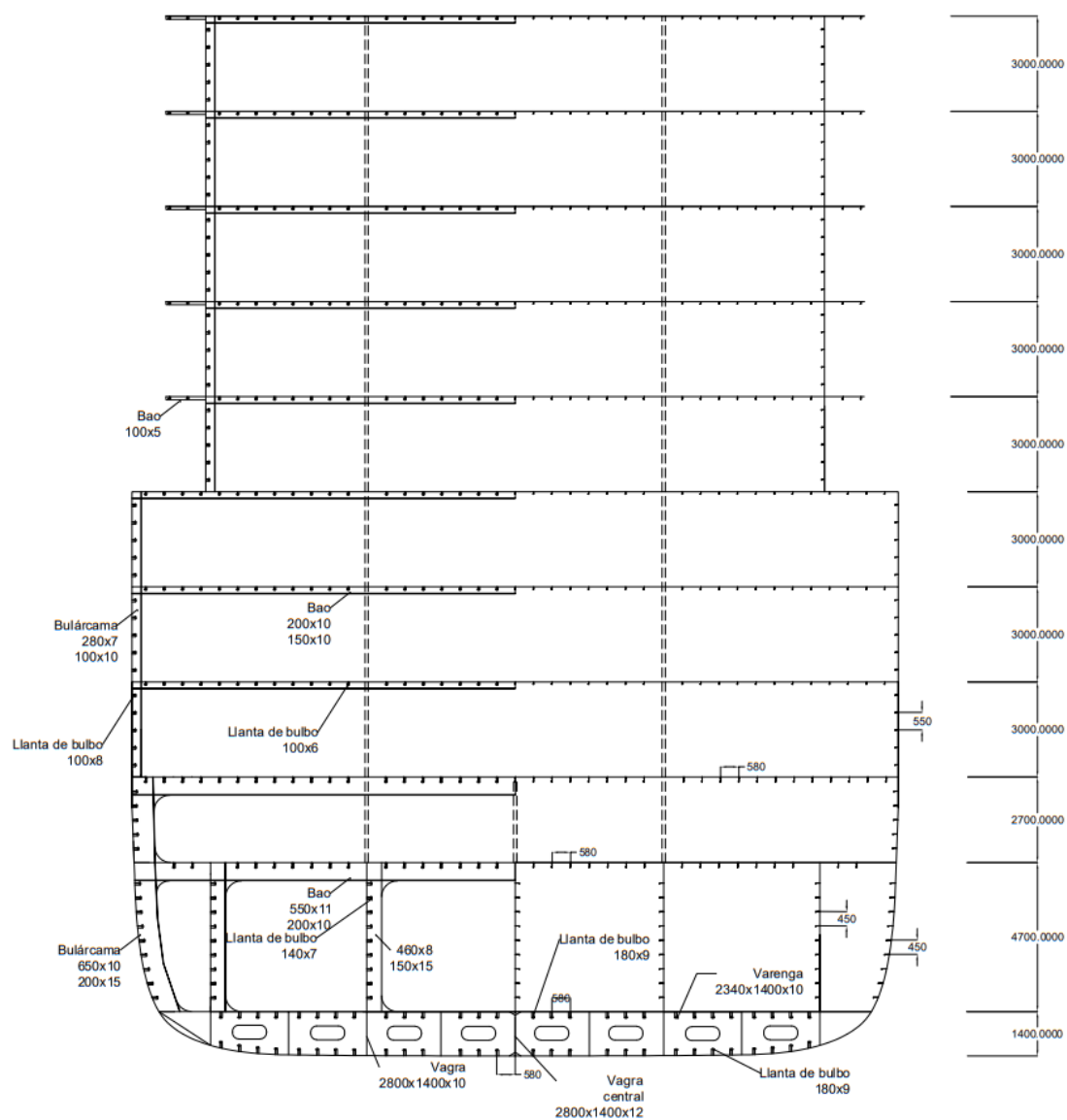
- Espaciado de los refuerzos longitudinales de la cubierta, el fondo y el doble fondo: 580mm
- Espaciado de los refuerzos longitudinales del casco hasta la cubierta principal: 450 mm
- Espaciado de los refuerzos longitudinales del casco a partir de la cubierta principal: 550 mm
- Espaciado de los refuerzos longitudinales en los mamparos longitudinales: 450 o 550 mm, al igual que los costados.

El material para el que se dimensionó la estructura es acero naval de clase A con las siguientes propiedades:

Tabla 10: Características material. Elaboración propia.

Características	Símbolo	Valor	Unidad
Límite elástico	σ	235	N/mm ²
Módulo de Young	E	206000	N/mm ²
Módulo de Poisson	ν	0,3	
Factor de acero (DNVGL-RU-SHIP Pt. 3 Ch 3)	K	1	

El escantillonado de la cuaderna maestra se realiza siguiendo el reglamento de la Sociedad de Clasificación. En primer lugar, se dimensionan las chapas para lo cual hay que hallar el espesor mínimo. El DNV nos proporciona dos procedimientos para conocer el valor del espesor mínimo de las chapas: el primero es el espesor mínimo en función del elemento al que pertenece la chapa (cubiertas, costado, fondo...) y el segundo es el espesor en función de las presiones que dependerá de la carga a la que se vea sometida la chapa. Al mayor espesor obtenido hay que sumarle una adición por corrosión. A continuación, se lleva a cabo el escantillonado de los refuerzos longitudinales. El procedimiento seguido es el mismo para la chapa con la diferencia de que una vez conocido el espesor mínimo es necesario calcular el módulo del refuerzo para poder acudir a un catálogo comercial y seleccionar los perfiles de tipo bulbo. Los refuerzos trasversales se fabricarán a medida para ello se calcula el espesor mínimo y el módulo con el fin de poder calcular que refuerzo de tipo T cumple las características necesarias. Además, se requiere de la instalación de puntales de acero para reducir la luz de los baos. En la siguiente imagen se muestra el escantillado de la cuaderna maestra obtenido. El proceso detallado de cálculo se encuentra desarrollado paso por paso en el Anexo VIII.



Espesores
Chapa de fondo: 13 mm
Traca de pantoque: 13 mm
Quilla: 15 mm
Chapa de doble fondo: 9 mm
Chapa de costado hasta 11.1: 11 mm
Chapa de costado entre 11.1 y 13.4: 10 mm
Chapa de costado entre 13.4 y 15.7: 8 mm
Chapa de costado por encima de 15.7: 7 mm
Cubiertas hasta cubierta principal: 8 mm
Cubierta separación tanques: 9 mm
Cubiertas habitación: 5 mm
Mamparo tanques: 9 mm
Otros mamparos hasta Cub.Principal: 7 mm
Otros mamparos habitación: 5mm

Figura 13: Cuaderna Maestra. Elaboración propia.

7 ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA

Como ya hemos visto en [3.2], la estrategia constructiva define como se ha de construir el buque, cuando y mediante qué recursos. Una parte fundamental de la estrategia constructiva es la división del buque en productos intermedios (paneles curvos, paneles planos, subbloques y bloques) y la clasificación de los trabajos de producción en zonas y etapas.

En este trabajo la estrategia constructiva estará basada principalmente en el despiece del buque en productos intermedios y la secuencia u orden de fabricación y montaje de dichos productos.

Se plantearán 3 casos de estudio para comprobar los efectos del compartimentado sobre la simulación. Los casos de estudio y la estrategia constructiva definida para cada uno de ellos se definen en los subapartados siguientes.

7.1 Caso de estudio 1: Buque proyecto

El caso de estudio 1 hace referencia al buque que ha sido diseñado previamente y para el cual se ha llevado a cabo el anteproyecto. El buque crucero ha sido diseñado sin tener en cuenta las consideraciones del proceso productivo.

7.1.1 Despiece del buque

El despiece de bloques debe de hacerse teniendo en cuenta las siguientes consideraciones (Thiel Durán , 1996):

- Simplificar los procesos de montaje
- El tamaño de los bloques debe de ser el máximo permitido por los medios del astillero, así como por el contenido de trabajo incorporado con el fin de minimizar los tiempos de fabricación y montaje
- La construcción de los bloques debe planificarse de forma que estos abarcan la máxima carga de trabajo en las etapas iniciales del proyecto (alto grado de prearmamento y prefabricado)
- Hay que tratar de evitar en la medida de lo posible la necesidad de instalar andamios
- Se busca la estandarización de los bloques

Los pasos a seguir para llevar a cabo el despiece de los bloques se muestran en la siguiente figura (Castilla Hernández, 2019):

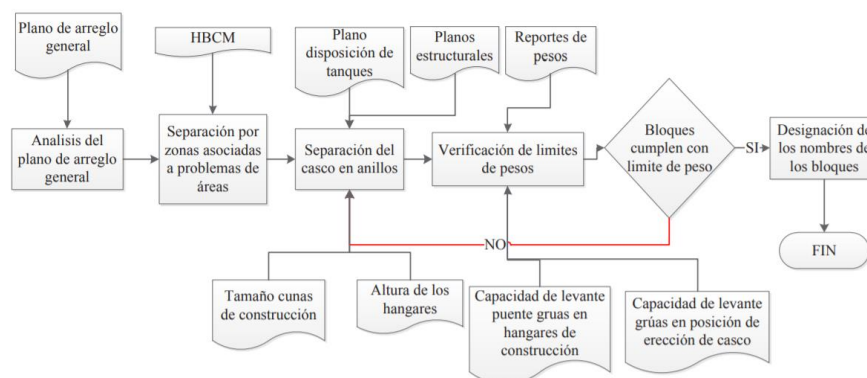


Figura 14: Proceso del despiece del buque. (Castilla Hernández, 2019)

Como se puede observar, es necesario partir de la disposición general del buque lo cual nos permitirá llevar a cabo la separación por zonas. En esta fase se diferenciarán 4 grandes zonas del buque:

1. Proa: esta zona se caracterizará por una manga inferior a la manga de trazado del buque y por la incorporación de bloques con formas complejas (bulbo de proa). En ella estarán localizados tanques de lastre y la estación de amarre y fondeo de proa.
2. Zona central: incluye la mayor parte del casco del buque y representará a la zona del casco con las formas más llenas. Estará compuesto por paneles planos y paneles curvos en la zona de pantoque. En ella también se encontrará la zona de máquinas donde se hallan los generadores principales, así como tanques y locales de maquinaria auxiliar.
3. Zona de popa: zona más a popa del buque. Se caracteriza por alojar los propulsores principales y la zona de amarre de popa. Zona pequeña pero compuesta de bloques singulares, los bloques inferiores estarán compuesto por paneles curvos.
4. Superestructura: incluirá todas las cubiertas superiores destinadas a habilitación. Supone la zona con formas más paralelepípedas y con un mayor grado de modularización al contener los módulos de los camarotes del pasaje.

A continuación, se observa una imagen con la separación por zonas adoptada:

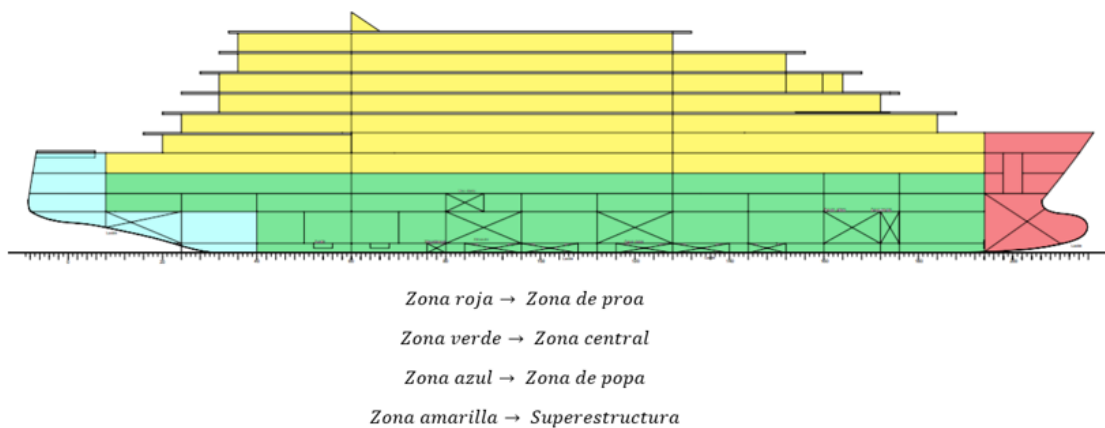


Figura 15: División por zonas y etapas del buque. Elaboración propia

El siguiente paso según el diagrama seguido es la separación del casco en anillos. Para ello, es necesario considerar el tamaño de las celdas de construcción. Los bloques o anillos deben de tener el mayor tamaño posible que vendrá limitado por el mayor tamaño de bloque que el astillero pueda manipular en función de las restricciones impuestas por el espacio disponible y la capacidad de izado que estos tengan (Alto University, 2015). Cuanto mayor sea el tamaño de bloque, más eficiente será la producción al reducir el tiempo de ingeniería en taller, el tiempo total de erección del casco y al tener que generar menor cantidad de paquetes de trabajo.

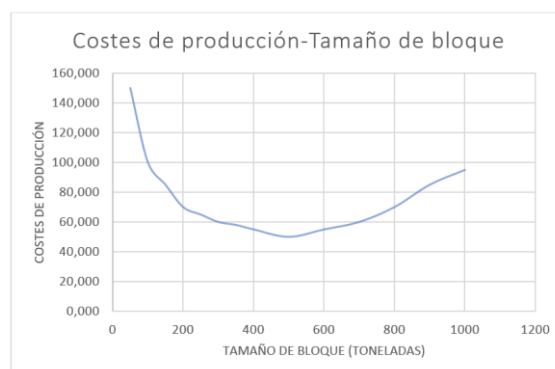


Figura 16: Gráfica Costes de producción- Tamaño del bloque. Elaboración propia

Las restricciones que se tendrán en cuenta son las siguientes:

- Dimensiones celda de construcción: 15x20 m
- Tamaño máximo de bloque 400t y tamaño máximo de subbloque 100 toneladas. Este peso viene delimitado por la capacidad de las grúas disponibles en el taller para el montaje de los bloques y las grúas de la grada.
- La altura de los bloques vendrá limitada, aparte de por el peso de los bloques, por la altura de las grúas y portones y el espacio disponible en el astillero. A partir de los datos estudiados de fijará como altura máxima de subbloque 6.5 metros.

Además, la separación en anillos también vendrá impuesta por los planos estructurales del buque. Tendremos en cuenta lo siguiente:

- Separación y altura de mamparos transversales. La separación media de los mamparos transversales será de 11.2 metros, exceptuando en el mamparo de colisión, mamparo de popa y zonas de máquinas. Se puede comprobar en la siguiente imagen, donde las unidades se muestran en mm:

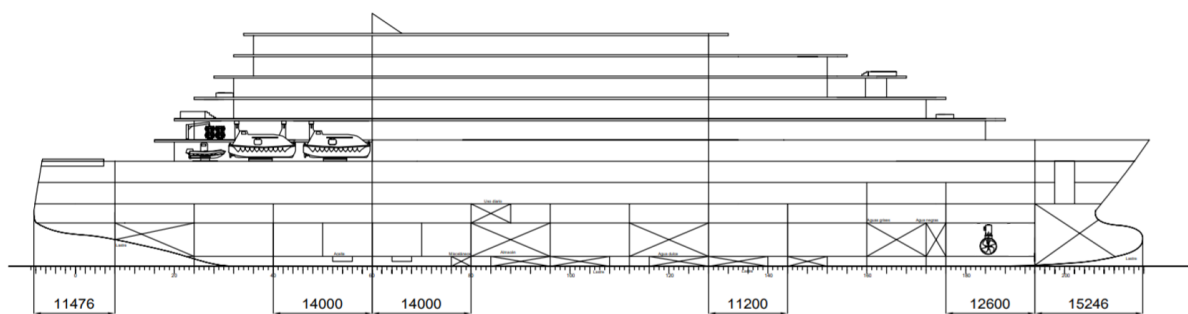


Figura 17: Separación mamparos transversales. Elaboración propia

- Altura de los mamparos transversales y del doble casco. El doble casco alcanzará la cubierta número 2 situada a 6.1 metros sobre la línea base (Figura 13: Cuaderna Maestra. Elaboración propia.)
- Troncos de escaleras. Uno de los factores característicos de los buques de pasaje es el elevado número de troncos de escaleras y de ascensores que poseen. La posición de estos troncos constituye un factor de vital importancia a la hora de realizar el despiece longitudinal del buque dado que los anillos deberán contener dichos troncos (Núñez-Barranco González Elipe, 2004).

Por tanto, atendiendo a todos los factores antes mencionados se hace una primera división del buque en anillos.

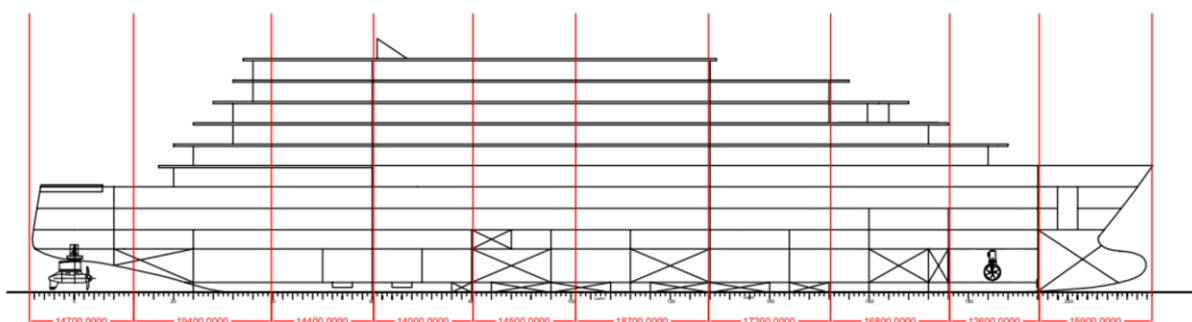


Figura 18: Separación Anillos. Elaboración propia

El siguiente paso es la verificación de los pesos y dimensiones de los bloques y subbloques. Como ya se puede comprobar a simple vista, los anillos tendrán que dividirse para formar bloques y ajustarse así a las restricciones de tamaño y peso. El procedimiento seguido será el siguiente:

1. Se partirá de una división preliminar
2. Se calculará el peso de los bloques
3. Se disminuirá o aumentará el peso de los bloques hasta conseguir que se encuentren dentro de los límites establecidos

Este proceso iterativo queda reflejado en el diagrama mostrado al comienzo del apartado mediante los pasos:



Antes de comenzar a llevar a cabo la separación en bloques a partir de las restricciones fijadas se llevará a cabo una estimación del número de subbloques necesarios. Esta estimación se hará en función de las dimensiones y el peso:

1. En función del peso

El peso en rosca del buque se conoce gracias a la estimación llevada a cabo en el “Cuaderno 2: Estimación del peso en Rosca” donde se obtuvieron los datos que se muestran a continuación:

Tabla 11: Peso en Rosca. Elaboración propia

PESO EN ROSCA	Peso (t)	XG (m)	Mom. X (t*m)	KG (m)	Mom. Z (t*m)
Peso Aceros	6410,18	65,3302144	418778,434	9,70812294	62230,8155
Peso Maquinaria	1458,7	40,1611366	58583,05	4,06757908	5933,3776
Peso Equipos Restantes	3064,154	82,2685125	252083,3916	16,1779292	49571,66635
Margen (+10%)	1093,3034	1,5	0	0,5	0
	12026,3374	62,1539507	729444,8756	10,2898351	117735,8595

Como se puede comprobar en la tabla el peso total del acero del buque se encuentra en torno a las 6500 toneladas. Sin embargo, se lleva a cabo lo que se conoce como prearmamento que consiste en que los bloques se montan con todos o una parte de los equipos instalados. Por tanto, para estimar el peso de los bloques es necesario considerar el peso de la estructura más el de aquellos elementos que se instalan en taller que supondremos del 10%. Por tanto, para llevar a cabo una estimación inicial del número de bloques supondremos que el peso total a mover por las grúas será:

$$P = 6410.18 + 10\% \text{ de prearmamento} + 10\% \text{ de margen} = 7051.198 \text{ ton}$$

Si el peso máximo de cada subbloque es de 80 ton y considerando que los bloques tendrán las mayores dimensiones posibles, el número mínimo de bloques será de:

$$n_{\text{subbloques}} = 89 \text{ subbloques}$$

1. En función de las dimensiones.

Si consideramos que cada bloque independientemente del peso y de la estructura del buque pudiera alcanzar las dimensiones máximas de la celda de trabajo el número de bloques sería de:

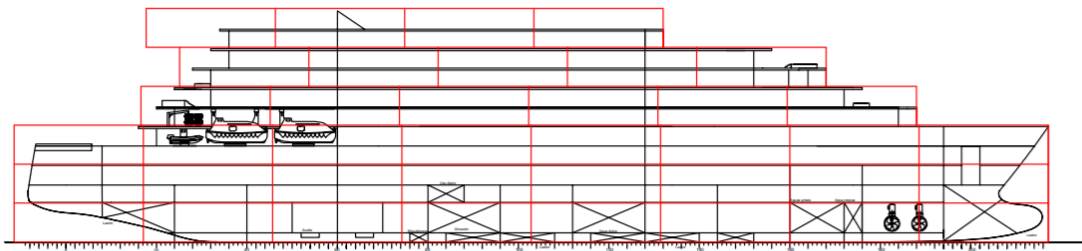


Figura 19: Subbloques en función de los tamaños máximos. Elaboración propia

$$n_{bloques} = 3 + 36 * 2 = 75 \text{ subbloques}$$

Si comparamos el número de subbloques obtenidos mediante las dos estimaciones llegamos a la conclusión de que el peso es un factor más restrictivo al obtener un mayor número de bloques. Además, nos permite obtener una primera estimación sobre el número de subbloques total que tendremos tras el despiece del buque.

De esta primera estimación podemos deducir que el peso de los bloques es un factor más restrictivo y al mismo tiempo nos proporciona una idea de que número de bloques debemos de obtener del despiece para que los bloques tengan el mayor tamaño posible por lo que los bloques inferiores tendrán menor tamaño que los superiores dado que el peso tanto de la estructura como del armamento será mayor.

Sin embargo, a la hora de realizar la división en bloques y subbloques vemos que cobra una gran importancia la distribución general y estructural del buque al no poder realizar la división por determinados lugares.

Para el cálculo del peso de los bloques se ha considerado el escantillonado de la Cuaderna Maestra de donde se obtiene el espesor de las chapas que conforman la estructura del buque. También se ha tenido en cuenta las formas y el compartimentado del buque para conocer los metros cuadrados necesarios de chapa. Se considera un peso del acero igual a 7850 kg/m^3 y se aplica un margen de seguridad sobre el peso calculado del 10% para abarcar posibles pesos del acero que no se están teniendo en cuenta en el cálculo.

Sobre el peso de acero resultante es necesario añadir el peso del prearmamento. Antes de ser ensamblados los subbloques pasarán la fase de prearmamento P1 donde se instalan aquellos equipos que requieren soldadura. Estos equipos están formados principalmente por equipos de ventilación y tuberías por lo cual su peso se considerará como un porcentaje del peso total de acero que se estimará en función del peso en rosca del buque proyecto. La Tabla 12 recoge los pesos considerados en la fase P1 y el porcentaje resultante sobre el peso del acero. Se considerará un porcentaje del 10%.

Tabla 12: Porcentaje Prearmamento P1. Elaboración propia.

Equipos	Peso (t)		
Instalación eléctrica	72,5		
Aire acondicionado	297,32		
Tuberías casco	40,2		
Chimenea	11,83	Peso acero	6410,18
Tuberías C.M.	153,3	% Prearmamento P1	9%
TOTAL	575,15		

Por otro lado, sobre los bloques se instalará el material de prearmamento P2. Este material puede estar formado por todos los equipos que no han sido montados previamente por lo que se supondrá un porcentaje del 30% sobre el peso total del bloque.

Tras un primer estudio de peso la división en bloques y subbloques obtenida es la siguiente:

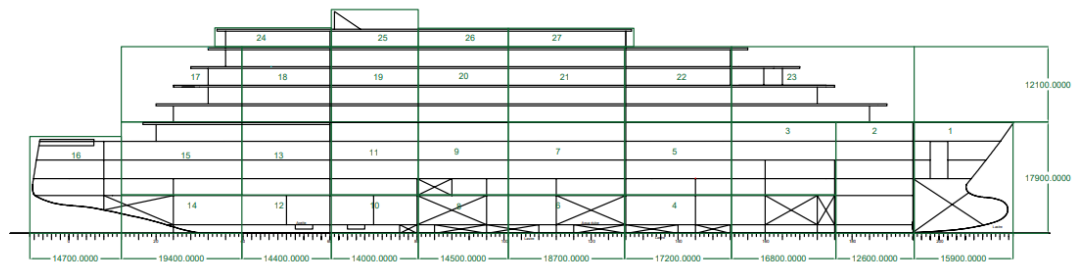


Figura 20: Despiece del buque en bloques. Elaboración propia

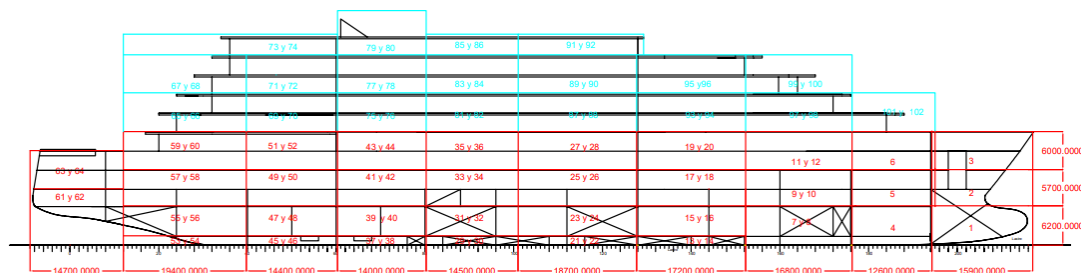


Figura 21: Despiece del buque en subbloques. Elaboración propia

El siguiente paso será designar un nombre a los bloques y subbloques. Para llevar a cabo esta tarea se diseñará un código que permita conocer la ubicación del bloque o subbloque. El código será el siguiente: *ABDC*

A tomará valor igual a 2 cuando se trate de un subbloque e igual a 1 cuando se trate de un bloque

B tomará un valor entre 0 y 9 en función del anillo o sección en el que se encuentre siendo 0 para el anillo ubicado más a popa y 9 para el ubicado más a proa.

C también está relacionado con la ubicación del bloque o subbloque, tomando un valor igual a 0 cuando sea un bloque central, 1 cuando sea un bloque de estribor y 2 cuando se trate de un bloque de babor.

Finalmente, D hará referencia a la altura del bloque. El valor de D se encontrará entre 1 y 7 para los subbloques y entre 1 y 4 para los bloques correspondiéndose los valores más pequeños con los bloques inferiores y ascendiendo a medida que se aumenta en altura.

Los subbloques corresponderán por sí mismos productos intermedios que se unirán entre sí para formar los bloques de mayor tamaño que se montarán y ensamblarán en la grada para formar el producto final, el buque. A su vez los subbloques estarán formados por unidades abiertas. Las unidades abiertas están formadas por paneles y previas, aunque para llevar a cabo este estudio no se profundizará en tanto nivel de detalle. Las unidades abiertas se clasificarán a su vez en unidades abiertas curvas o planas en función de la forma de los paneles que las componen.

- Unidades abiertas curvas: todas aquellas UA's formadas por paneles que formen parte del forro con formas particulares. Los paneles curvos irán ubicados en las zonas del bulbo de proa, popa y doble fondo. Los paneles curvos presentan un proceso de fabricación más complejo por lo cual el tiempo requerido para su fabricación es más elevado. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la unidad abierta del forro es curva debido a la curvatura de la zona del pantoque.
- Paneles plano: serán todo el resto de unidades abiertas que no estén formadas por paneles curvos. Podrán formar parte del forro, mamparos o cubiertas. Se caracterizan

por ser planos y no presentar curvatura por lo cual su fabricación resulta ser más sencilla y rápida. En la Figura 22, las unidades abiertas planas son el doble fondo y el forro plano.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo del subbloque 2411:

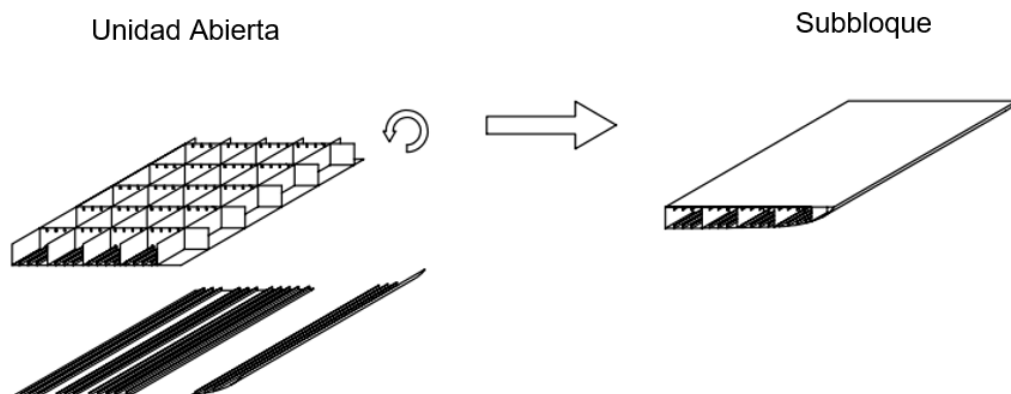


Figura 22: Subbloque 2411. Elaboración propia.

Aunque en este trabajo no se alcanzará tal nivel de detalle, cabe mencionar que las unidades abiertas a su vez estarán compuestas por las chapas y los refuerzos acoplados a la chapa. En la siguiente imagen se muestra el proceso de ensamblaje de diferentes elementos para formar una unidad abierta o panel:

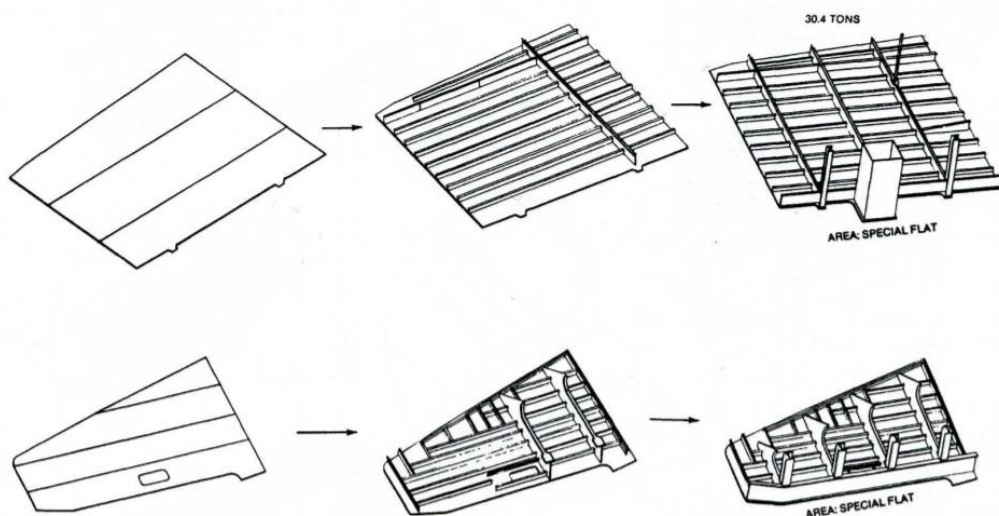


Figura 23: Ensamblaje de un panel. (Alto University, 2015)

A cada subbloque se le asignarán los paneles que lo conforman. La división en paneles se llevará a cabo a partir de la disposición estructural del buque separando los elementos en forro, cubierta, doble fondo, mamparo longitudinal y mamparo transversal. Al igual que se hizo para los bloques y subbloques también es necesario asignar un nombre a cada unidad abierta. El código desarrollado para estos componentes será el siguiente:

ABC – D

Correspondiéndose cada letra con los siguientes valores:

A tomará el valor de 0 cuando se trate de un panel plano y 1 cuando sea un panel curvo.

B se corresponderá con una letra cuya función será indicar de qué tipo de elemento se trata:

F: forro

L: mamparo longitudinal

T: mamparo transversal

C: cubierta

D: cubierta de doble fondo

C número del elemento dentro del subbloque

Y D indicará el subbloque del que forma parte la unidad abierta y será un número de 3 dígitos coincidentes con los últimos 3 dígitos del subbloque correspondiente.

Por ejemplo, el doble fondo del subbloque de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** será designado por el código 0D1-411.

7.1.2 Secuencia de fabricación y montaje

Una vez establecidos los productos intermedios que conformarán el buque, la estrategia constructiva define la secuencia de fabricación y montaje de dichos productos intermedios con la finalidad de optimizar el proceso de construcción.

Se establece por tanto una secuencia de montaje en grada de los bloques, una secuencia de montaje de los subbloques para formar cada uno de los bloques de mayor tamaño y finalmente una secuencia de montaje de las unidades abiertas que conforman cada subbloque.

1. Secuencia de montaje de los bloques en la grada

El orden de montaje de los bloques en la grada definirá el orden de fabricación de los subbloques y paneles y es por ello por lo que es un factor primordial en la definición de la estrategia constructiva. Además, se trata de uno de los principales condicionantes del “lead time” o tiempo de entrega del producto final.

Durante la definición de la secuencia de bloques, se deben tener en cuenta las siguientes restricciones o factores (Caprace, Trevisani Da Silva, Rigo, & Martins Pires, 2011):

- Limitaciones físicas, por ejemplo, los bloques que soportan a otros deben colocarse en primer lugar.
- Carga de trabajo de cada uno de los bloques en taller con el fin de mantener una carga de trabajo lo más constante posible en los talleres.
- Restricciones de ensamblaje de bloques como el tiempo mínimo entre la colocación de dos bloques, necesario para virar y soldar el bloque en el barco. También es necesario considerar la imposibilidad de insertar un bloque entre dos bloques ya montados dado a que aumentaría la complejidad de la etapa de ensamblaje.
- Restricción de montaje, como los primeros bloques que se colocarán que serán los correspondientes a las cámara de máquinas porque requieren un tiempo de montaje y equipamiento mayor.
- Estrategia de montaje.

Para definir la estrategia de montaje que mejor se adapta a nuestro proceso es necesario conocer que tipos de estrategia de montaje existentes y cuando resulta más ventajoso aplicar cada una de ellas. Se diferenciarán tres tipos de estrategias de montaje en función de la formación del buque: tipo piso, tipo anillo y tipo pirámide.

La estrategia de montaje tipo piso comienza por la puesta de quilla y el montaje de los sucesivos bloques del mismo nivel de popa a proa. Por otra parte, el montaje tipo anillo comienza desde el bloque de colocación de la quilla en la dirección superior, y el casco se construye como una única unidad de compartimento. Finalmente, el montaje tipo pirámide tiene aspectos tanto del método horizontal como del vertical.

Tras el estudio de las diferentes estrategias de montaje de un buque, los resultados obtenidos por (Kim, Lee, Park, & Lee, 2005) el montaje de tipo pirámide era con el que se conseguía un menor tiempo de montaje en grada. En segundo lugar, se encontraba la estrategia de tipo piso y en tercer lugar la de tipo anillo. La diferencia entre los tres métodos y los resultados obtenidos se pueden observar en la siguiente imagen.

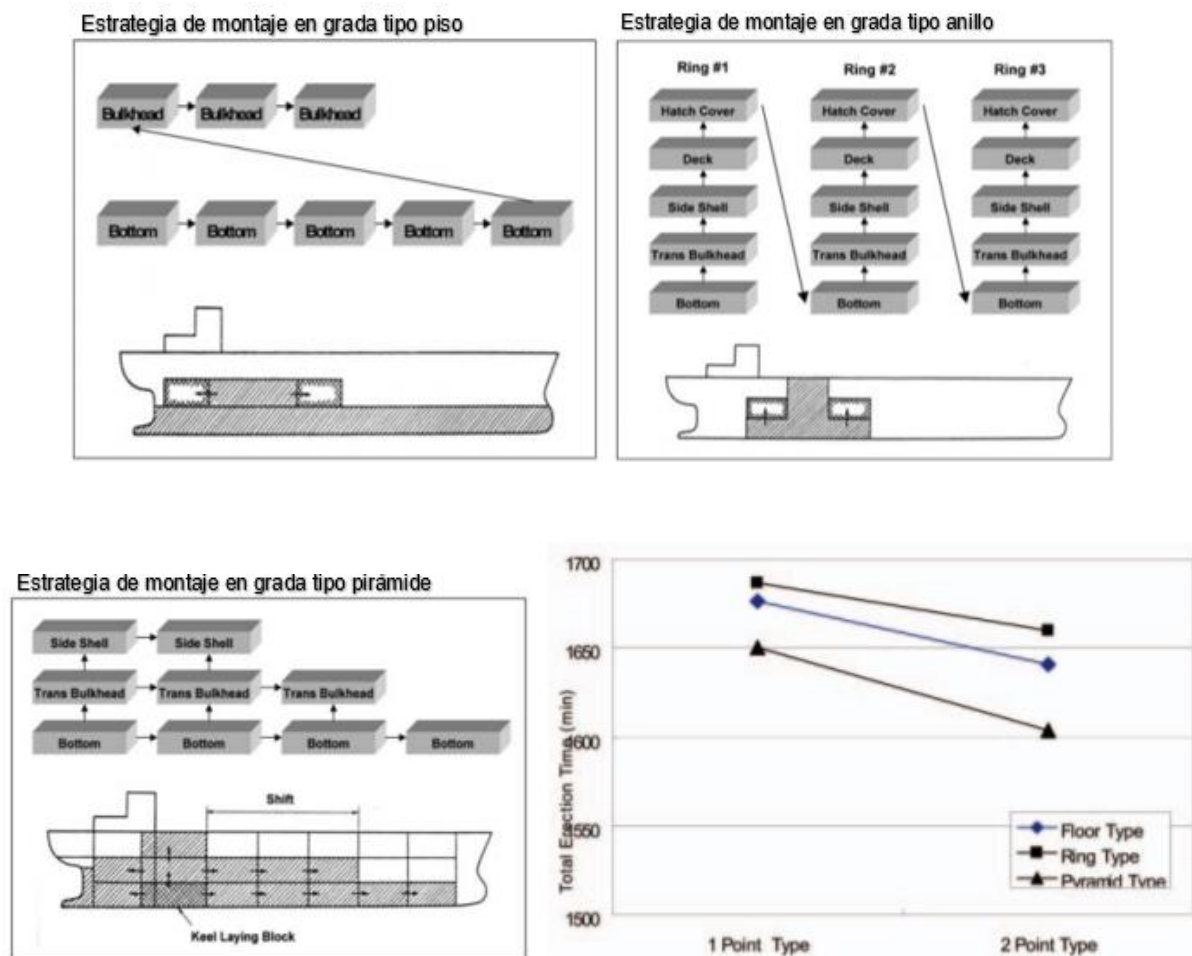


Figura 24: Estrategias de montaje en grada. (Kim, Lee, Park, & Lee, 2005)

Además, se pudo comprobar que en otros astilleros especializados en la construcción de buques cruceros también se emplea la estrategia de tipo pirámide, como por ejemplo en el astillero Meyer Werft.

Pese a que el montaje que sigue una estrategia piramidal es el más rápido también es el más complejo de llevar a cabo por ser el que requiere de una mayor nivel de planificación. Esto es debido a que varios bloques se pueden estar ensamblando al mismo tiempo en diferentes niveles por lo que es necesario comprobar que todos los bloques colindantes al que se va a montar hayan finalizado su ensamblaje a tiempo para que no se produzcan grandes tiempos de espera, así como la utilización de la grúa.

Por tanto, y pese a que la estrategia de montaje tipo pirámide es la más rápida, debido a la dificultad de planificación que presenta se decidirá seguir una estrategia de montaje de tipo piso. Esta estrategia definirá el orden o secuencia de montaje en grada de los mega bloques que se llevará a cabo a partir de la puesta de quilla. El primer bloque se corresponderá con aquel que aloja la cámara de máquinas porque como ya se ha visto estos bloques requieren de un tiempo de montaje más elevado. A continuación, se montarán los bloques colindantes que se encuentren al mismo nivel y así sucesivamente. Cuando todos los bloques del doble fondo hayan sido ubicados se precederá al montaje de los bloques superiores y así para el resto de niveles.

En la siguiente tabla se muestra la secuencia preliminar definida para el montaje en grada de los bloques:

Secuencia	Bloque	Código
0	12	1201
1	10	1301
2	8	1401
3	6	1501
4	4	1601
5	14	1101
6	16	1001
7	15	1102
8	13	1202
9	11	1302
10	9	1402
11	7	1502
12	5	1602
13	3	1701
14	2	1801
15	1	1901
16	17	1103
17	18	1203
18	19	1303
19	20	1403
20	21	1503
21	22	1603
22	23	1703
23	24	1204
24	25	1304
25	26	1404
26	27	1504

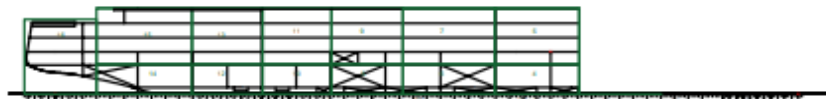
En la siguiente figura se encuentra reflejada en 6 pasos la estrategia de montaje definida en la tabla:



**Puesta de quilla
(Bloque 1201)**



**Montaje bloques
primer piso**



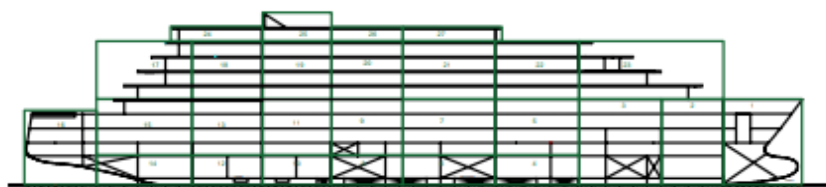
**Montaje bloques
segundo piso**



**Montaje completo
del casco**



**Montaje
Superestructura**



**Montaje bloques
último piso de
Superestructura**

Figura 25: Secuencia montaje de bloques en grada. Elaboración propia

2. Secuencia de ensamblaje de los subbloques

La definición de la secuencia de ensamblaje de los subbloques se ejecutará de forma que se simplifiquen los trabajos de soldadura. Los bloques de mayor tamaño están formados por 2, 3, 4 o 6 subbloques y estos se irán montando siguiendo la siguiente estrategia. En primer lugar, se llevará a cabo el ensamblaje de los bloques que se encuentren en el mismo nivel en sentido popa-proa y estribor-babor. Posteriormente se unirán entre sí los diferentes pisos que componen el bloque de los pisos inferiores a los superiores hasta completar el número total de subbloques.

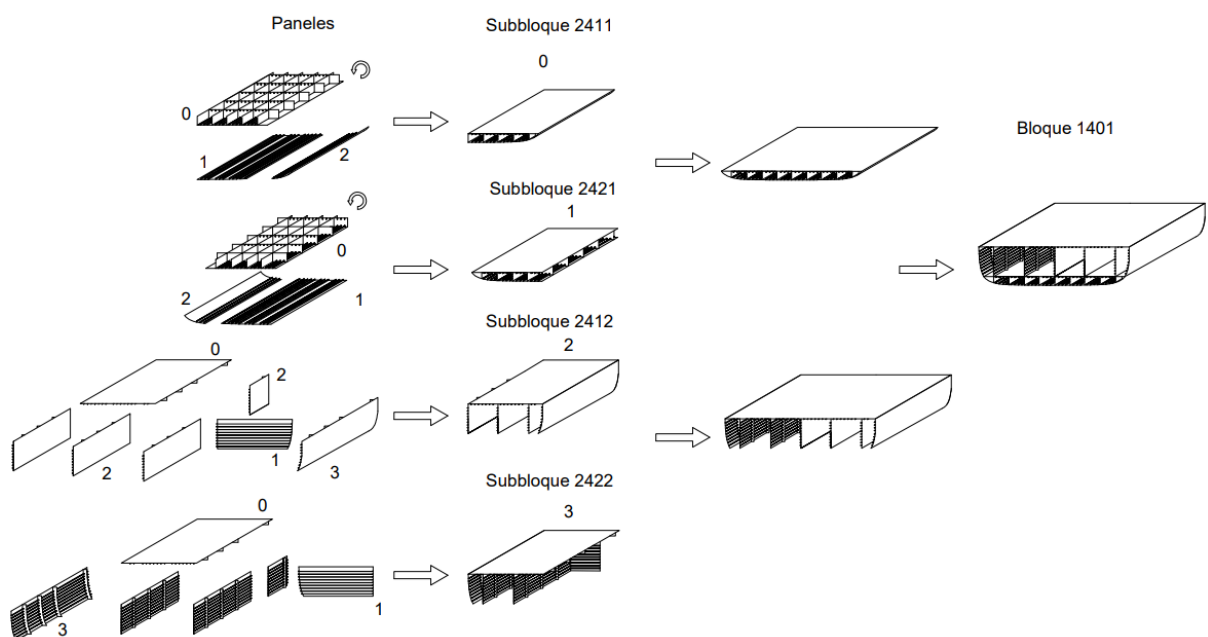
3. Secuencia de ensamblaje de los paneles

Al igual que en el caso de los subbloques el ensamblaje de los paneles se llevará a cabo procurando que el trabajo de soldadura sea el menor posible y que se lleve a cabo dentro del taller en la posición más cómoda para los soldadores.

Como estrategia general se puede definir que los primeros paneles que serán montados serán las cubiertas, posteriormente se montarán los mamparos transversales y longitudinales y finalmente los paneles del forro serán los últimos en ser ensamblados. Salvo en aquellos casos en los que no hay mamparos y el forro sirve de sustento para el conjunto de las cuadernas.

En la *Figura 26* se representa un ejemplo de la secuencia de montaje tanto de unidades abiertas como de los subbloques para la obtención de un bloque que se montará posteriormente en grada, tras las fases de prearmamento, chorreo y pintura correspondientes.

Figura 26: Secuencia montaje bloque 1401. Elaboración propia



7.2 Caso de estudio 2: Modificación del compartimentado

Para este nuevo caso de estudio se modificará el compartimentado transversal del buque proyecto para ajustar el tamaño de bloque a la celda de construcción. A la hora de llevar a cabo las modificaciones es necesario tener en cuenta una serie de aspectos que se mencionan a continuación:

- Espaciado de cuadernas y bulárcamas. Para este caso de estudio se opta por mantener el espaciado de cuadernas y bulárcamas, es decir 0,7 y 2,8 metros respectivamente, dado que no se modificarán las dimensiones principales del buque. Los mamparos transversales deben coincidir con refuerzos primarios.
- Es necesario definir como mínimo los mamparos transversales estancos de colisión, de pique de popa y los mamparos extremos de cámara de máquinas.
- El número mínimo de mamparos estancos debe cumplir los mínimos establecidos por la Sociedad de Clasificación. Recordemos que el número mínimos de mamparos transversales para un buque con las dimensiones del buque proyecto y con la cámara de máquinas no situada a popa es de 8 según el DNV-GL.
- El mamparo de colisión debe de estar a una distancia entre 5.05 y 9.38 metros de la perpendicular de proa.
- El espacio disponible entre mamparos de cámara de máquinas debe de ser al menos de 14 metros por cámara de máquinas y existen dos cámara de máquinas separadas por mamparos estancos resistentes al fuego.
- El propulsor transversal de proa también debe ir ubicado entre mamparos estancos.
- Eslora de avería igual a 4,3 metros.
- Deben asegurarse las capacidades mínimas de los tanques calculadas en el anteproyecto y las restricciones de disposición.
- Las zonas verticales principales deben dividir al buque mediante mamparos estancos de clase "A-60" y deben estar en línea con los mamparos estancos principales para lo cual pueden tener una extensión máxima de 48 metros.
- Se ajustará el espaciado entre mamparos transversales estancos al tamaño de la celda de construcción (15x20m).
- Se supondrá el mismo escantillonado de la cuaderna maestra realizado para el buque proyecto.
- Se procurará conseguir una distribución de los pesos más constante.

Tras tener en cuenta todas estas consideraciones se plantea el siguiente compartimentado:

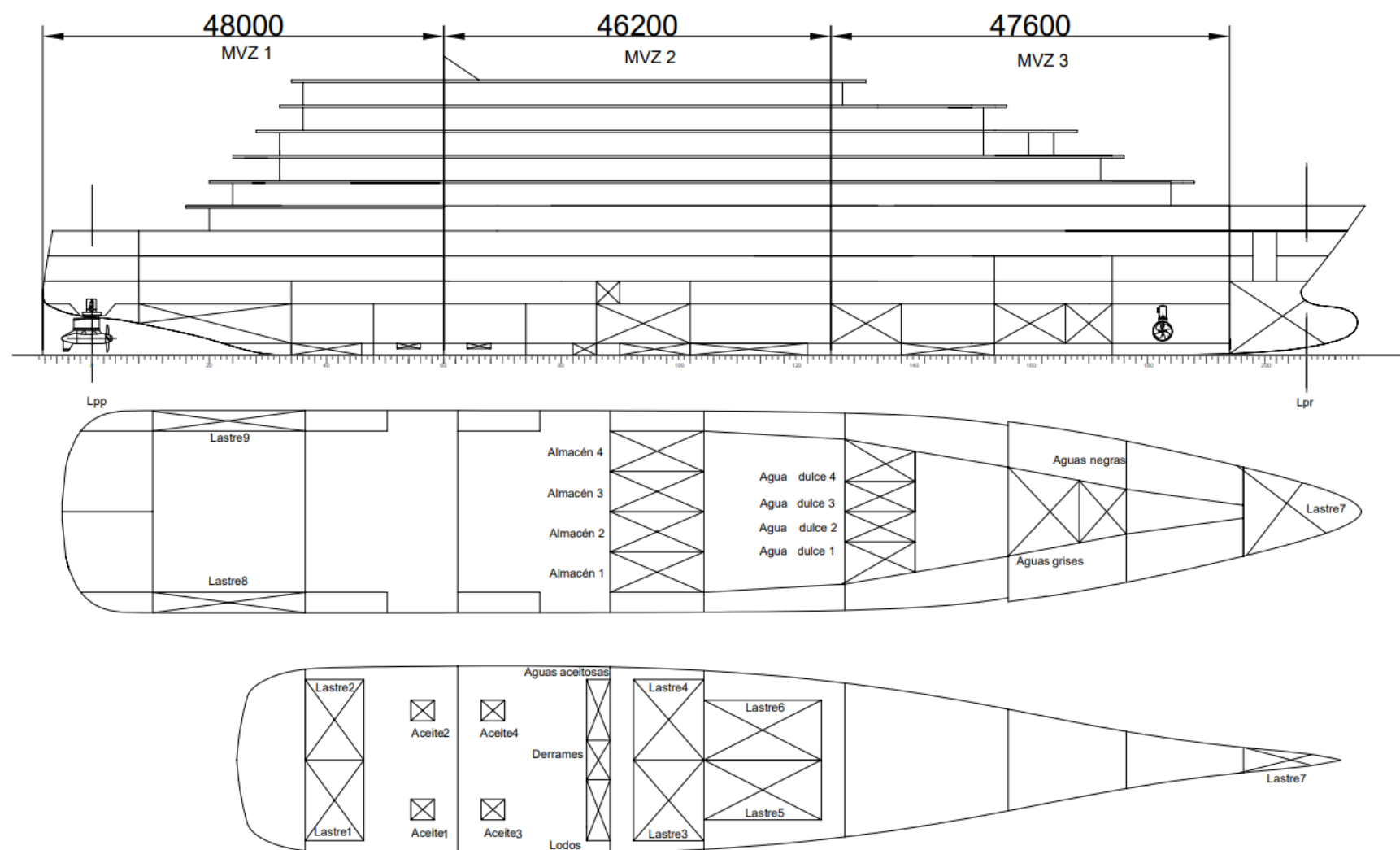


Figura 27: Compartimentado caso de estudio 2. Elaboración propia

A continuación, se procederá de la misma manera que se llevó a cabo para el caso 1, es decir en primer lugar se hallará el despiece del buque en productos intermedios y finalmente se establecerá el orden o secuencia de fabricación y montaje.

7.2.1 Despiece del buque

El despiece del buque se llevará cabo teniendo en cuenta las mismas consideraciones que para el caso de estudio 1 y los pasos seguidos serán los mismos:

1. Separación por zonas
2. Separación del casco en anillos
3. Verificación de límites de pesos
4. Designación de los nombres de los bloques

La separaciones por zonas será la misma que la aplicada para el caso 1 y la división en anillos esta vez se realizará entre mamparos estancos, siguiendo las mismas restricciones que las vistas previamente (celda de construcción 15x20m, tamaño máximo de bloque 400t y máximo de subbloque 100t, altura subbloque 6,5m y planos estructurales). La separación por anillos resulta:

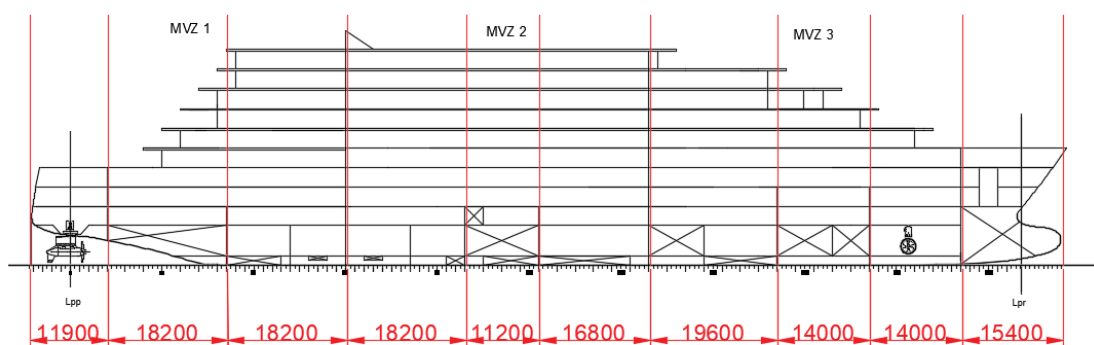


Figura 28: Separación por anillos caso 2. Elaboración propia

El siguiente paso consistirá en el despiece del buque en productos intermedios a partir de la separación por anillos establecida:

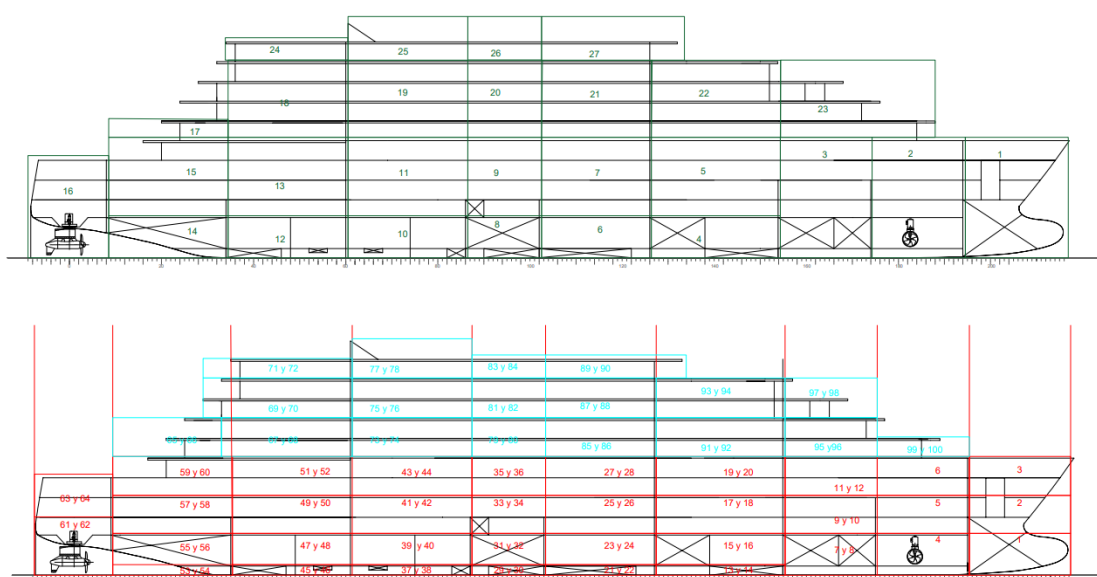


Figura 29: Despiece del buque caso 2. Elaboración propia.

Como se puede comprobar tras el despiece del buque para el caso de estudio 2, con el nuevo compartimentado se obtiene un número de subbloques y bloques muy similares al caso 1. Esto ocurre porque ya para el caso de estudio anterior se procuró que los bloques tuvieran el mayor tamaño posible. Sin embargo, en esta ocasión el compartimentado es más sencillo por lo que los procesos de ensamblaje y soldadura entre subbloques debería resultar menos complejo y más rápido, al igual que las operaciones de fabricación de unidades abiertas ya que se contará con un mayor grado de estandarización. Los resultados finales se comprobarán a la hora de ejecutar la simulación.

El siguiente paso es el despiece de los subbloques en unidades abiertas que se llevará a cabo separando los elementos en forro, cubierta, doble fondo, mamparo longitudinal y mamparo transversal. Los códigos empleados para designar los bloques, subbloques y unidades abiertas es el mismo que el descrito en el apartado 7.1.1. Se definen un total de 424 unidades abiertas que conformarán los 100 subbloques definidos y que a su vez se unirán para formar los 27 subbloques que componen el buque. Todas las secuencias de fabricación y montaje quedan recogidas en las tablas.

7.2.2 Secuencia de fabricación y montaje

Una vez establecidos los productos intermedios que conformarán el buque, la estrategia constructiva define la secuencia de fabricación y montaje de dichos productos intermedios con la finalidad de optimizar el proceso de construcción.

Se establece por tanto una secuencia de montaje en grada de los bloques, una secuencia de montaje de los subbloques para formar cada uno de los bloques de mayor tamaño y finalmente una secuencia de montaje de las unidades abiertas que conforman cada subbloque. La lógica de ensamblaje de los subbloques, bloques y unidades abiertas será la misma que la explicada para el caso 1.

7.3 Caso de estudio 3: Modificación de las dimensiones principales

Para este nuevo caso de estudio se plantea cambiar las dimensiones principales del buque. Con estas modificaciones se pretende ajustar sus dimensiones principales (eslora y manga) al proceso constructivo planteado para reducir así el número de bloques y subbloques. En los dos primeros casos planteados el buque era dividido por la línea de crujía debido al tamaño máximo de la celda de construcción (15x20m) lo que provocaba un alto número de subbloques. Se plantea, por tanto, reducir la manga del buque para ajustarla al tamaño máximo de la celda y que no sea necesario dividir así el casco del buque en subbloques de estribor y subbloques de babor. Sin embargo, si se reduce la manga es necesario llevar a cabo un aumento de la eslora para mantener la superficie útil a bordo y que el nuevo buque resultante pueda ofrecer los mismos servicios. El número de cubiertas no varía debido a que se mantiene la disposición general descrita previamente.

Para llevar a cabo la propuesta se siguen los siguientes pasos: reducción de manga, aumento de la eslora, comprobación de la superficie de las cubiertas y realización del compartimentado del buque. Tras varias comprobaciones, las dimensiones principales modificadas resultan:

$$L_{pp}' = 168 \text{ m}$$

$$L_t' = 180 \text{ m}$$

$$B' = 20 \text{ m}$$

En la Tabla 13 se puede comprobar como el área disponible por cubierta para el buque proyecto y el área obtenida para el buque con las modificaciones llevadas a cabo se encuentran en el mismo rango de valores por lo que se puede garantizar que el buque con las nuevas dimensiones dispone del espacio necesario para alojar todos los servicios.

Tabla 13: Superficie cubiertas buque propuesto caso 3. Elaboración propia.

Cubierta	Superficie Buque Proyecto (m2)	Superficie Caso 3 (m2)
1	2061,2	2330,1
2	2953,1	3027,2
3	3023,9	3074,0
4	3106,9	3152,6
5	3210,7	3235,3
6	2999,6	2976,9
7	2497,4	2475,2
8	2280,0	2394,9
9	2082,8	2153,7
10	1883,3	1909,4
TOTAL	26099,0	26729,5

Al igual que en el segundo caso planteado, será necesario tener en cuenta una serie de factores que se exponen a continuación para poder llevar a cabo el compartimentado de la nueva propuesta.

- Separación de cuadernas y bulárcamas

La separación entre cuadernas y bulárcamas vendrá condicionada por las dimensiones de los camarotes de habitación ya que los módulos deben de ir ubicados entre refuerzos principales. Al aumentar la eslora y reducir la manga del buque, a parte de la superficie disponible por cubierta es necesario comprobar que existe espacio suficiente para alojar los espacios de alojamiento. Los camarotes de habitación planteados inicialmente deben de ser modificados para ajustarse a las nuevas dimensiones del buque. Por tanto, se propone modificar la separación entre cuadernas de 0,7 a 0,75 para aumentar el espacio disponible entre bulárcamas de 2,8 metros a 3 metros y hacer frente así a la pérdida de superficie debido a la reducción de la manga que sufrirán los camarotes.

Las nuevas dimensiones de los camarotes serán de 3 metros por 9 metros los de las cubiertas inferiores y de 6 por 7 metros los camarotes de mayor categoría. Además, se mantendrá el espacios de balcones, aunque su superficie total disminuirá de 8,4 a 6 m2. Se comprueba también que se mantiene una anchura de pasillo suficiente para permitir el paso fluido de los pasajeros.

Tabla 14: Superficie camarotes. Elaboración propia.

	Camarote	L (m)	B (m)	Superficie (m2)
Buque proyecto	Inferior	10,5	2,8	29,4
	Superior	8,5	5,6	47,6
Propuesta	Inferior	9	3	27
	Superior	7,5	6	45

Como se puede comprobar en la Tabla 14, los camarotes de la nueva propuesta tienen un tamaño inferior a los camarotes planteados en primer lugar. Sin embargo, se considera que conservan espacio suficiente para proporcionar una estancia agradable a los pasajeros. Se decide no aumentar la separación entre cuadernas a 0,8, la cual proporcionaría unos valores de superficie total por camarote más similar a los camarotes del buque inicial, con el fin de ajustar el tamaño del subbloque a la celda de construcción. De esta forma con una separación de cuadernas de 0,75 se podrá disponer, siempre y cuando se cumpla el criterio

de mamparos transversales mínimo impuesto por la sociedad de clasificación, un mamparo transversal cada 15 metros o cada 20 claras de cuadernas haciéndolos coincidir con refuerzos primarios.

- Número mínimo de mamparos estancos

Tras modificar la eslora total es necesario comprobar en el DNV-GL el número mínimo de mamparos estancos transversales.

Tabla 15: Número de mamparos transversales. (DNV-GL Pt 3 Ch 2Sec 2)

Ship length in m	Engine room	
	Aft	Elsewhere
$L \leq 65$	3	4
$65 < L \leq 85$	4	4
$85 < L \leq 105$	4	5
$105 < L \leq 125$	5	6
$125 < L \leq 145$	6	7
$145 < L \leq 165$	7	8
$165 < L \leq 190$	8	9
$190 < L \leq 225$	9	10
$L > 225$	specially considered	

La Tabla 15 nos indica que el número de mamparos para un buque de 180 metros de eslora total con la cámara de máquinas no situada a popa debe de ser de al menos 9. Entre los cuales deben de estar definidos el mamparo de pique de popa, el mamparo de colisión y los mamparos extremos de cámara de máquinas.

- Comprobación separación mamparo de colisión

La sociedad de clasificación también establece la distancia mínima y máxima del mamparo de colisión a la perpendicular de proa. Al haber modificado la eslora es necesario volver a realizar el cálculo:

$$xc - min = \min (0.05 * Lll - xf; 10 - xf)$$

$$xc - max = \max (0.08 * Lll - xf; 0.05 * Lll + 3 - xf)$$

Siendo xc la distancia medida desde la perpendicular de proa, Lll el 96% de la eslora total en la línea de agua correspondiente al 85% del puntal que toma el valor de 161 metros y xf el ajuste debido a la variación del punto de referencia en función del bulbo con un valor de 2.42 m.

Por tanto,

$$\begin{array}{lcl}
 xc - min_1 = 0.05 * 161 - 2.42 = 5.63 \text{ m} & \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} & xc - min = 5.63 \text{ m} \\
 xc - min_2 = 10 - 2.42 = 7.58 \text{ m} & & \\
 xc - max_1 = 0.08 * 161 - 2.42 = 10.46 \text{ m} & \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} & xc - max = 10.46 \text{ m} \\
 xc - max_2 = 0.05 * 161 + 3 - 2.41 = 8.64 \text{ m} & &
 \end{array}$$

Teniendo en cuenta estos valores, se decidió ubicar el mamparo de colisión a 9 metros de la perpendicular de proa, haciéndolo coincidir con la cuaderna número 212. Esta decisión se

toma en base a permitir que los subbloques de proa se extiendan desde el extremo más a proa y el mamparo de colisión con lo que la distancia máxima entre el punto más extremo y el mamparo debe de ser igual o inferior a 15 metros.

- Espacio C.M.

Como ya se ha visto en el apartado 7.2 para el segundo caso de estudio propuesto, la cámara de máquinas debe de tener al menos una longitud de 14 metros cada una, por lo que se distribuirán dos cámara de máquinas de 15x20 metros para ajustarse al tamaño de la celda de construcción.

- Zonas verticales principales

Las zonas verticales principales deben estar en línea con los mamparos estancos principales y pueden tener una extensión máxima de 48 metros. Debido a las nuevas dimensiones del buque es necesario dividir al buque en 4 MVZ o zonas principales verticales que se harán coincidir con mamparos estancos situados cada 45 metros, salvo por la situada más a popa que tendrá menores dimensiones.

- Se ajustará el espaciado entre mamparos transversales estancos al tamaño de la celda de construcción (15x20m)
- Se debe garantizar que se cumplen las capacidades mínimas de los tanques
- Se procurará conseguir una distribución de los pesos constante

Para simplificar el proceso, aunque la estructura se verá modificada por el cambio de las dimensiones principales, se considerará el escantillonado de la cuaderna maestra llevado para el buque proyecto. Realizar el escantillonado de la nueva cuaderna maestra supondría la repetición de una amplia parte del anteproyecto llevado a cabo lo cual se escapa del alcance del trabajo realizado. Teniendo en cuenta todas las consideraciones expuestas hasta ahora se plantea el siguiente compartimentado:

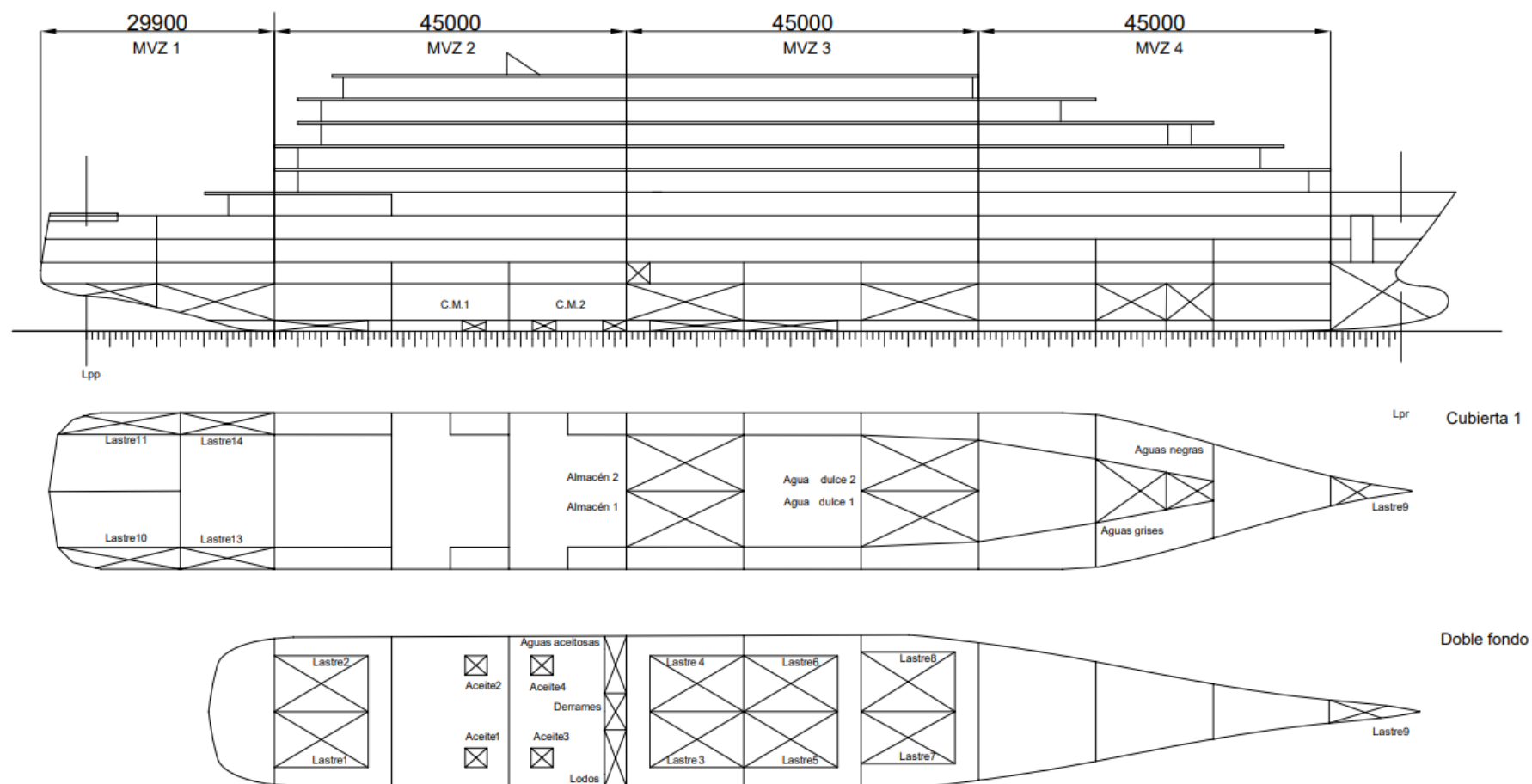


Figura 30: Compartimentado Caso 3. Elaboración propi

7.3.1 Despiece del buque

Al igual que se ha realizado para los dos casos anteriores, el buque se dividirá en productos intermedios de menor tamaño. Para llevar a cabo la estrategia constructiva se aplicarán los mismos criterios que los considerados hasta el momento: celda de construcción 15x20m, tamaño máximo de bloque 400t y máximo de subbloque 100t, altura subbloque 6,5m. Se procederá a separar el buque en anillos en primer lugar. La separación en anillos se realizará entre mamparos estancos buscando conseguir el mayor nivel de repetición de bloques posible:

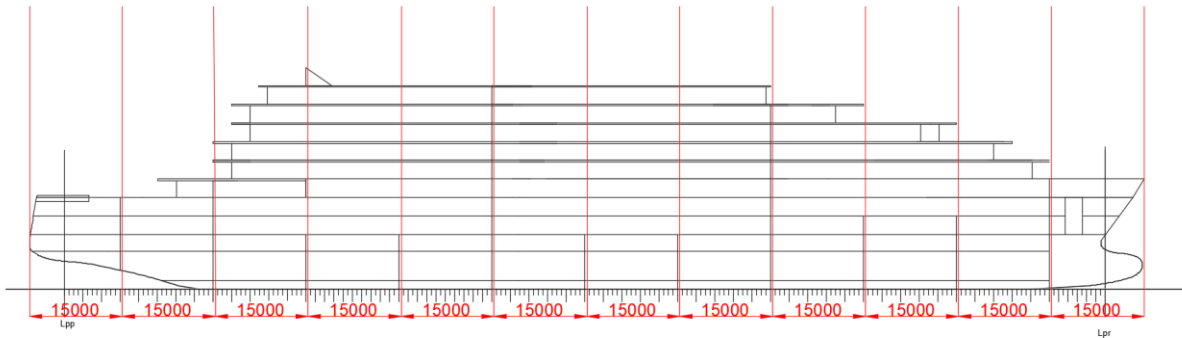


Figura 31: Separación por anillos caso 3. Elaboración propia.

Tras esta primera división inicial y respetando los anillos se procede a dividir el buque en bloques y subbloques. Para llevar a cabo esta operación se comprobará que el peso tanto de los subbloques como los bloques no superan 100 y 400 toneladas, respectivamente. Al igual que se hizo para casos anteriores se considerará un grado de prearmamento sobre los subbloques del 10% y del 30% sobre los bloques. Además de un margen de seguridad del 10% sobre el peso de los bloques. Los resultados obtenidos son:

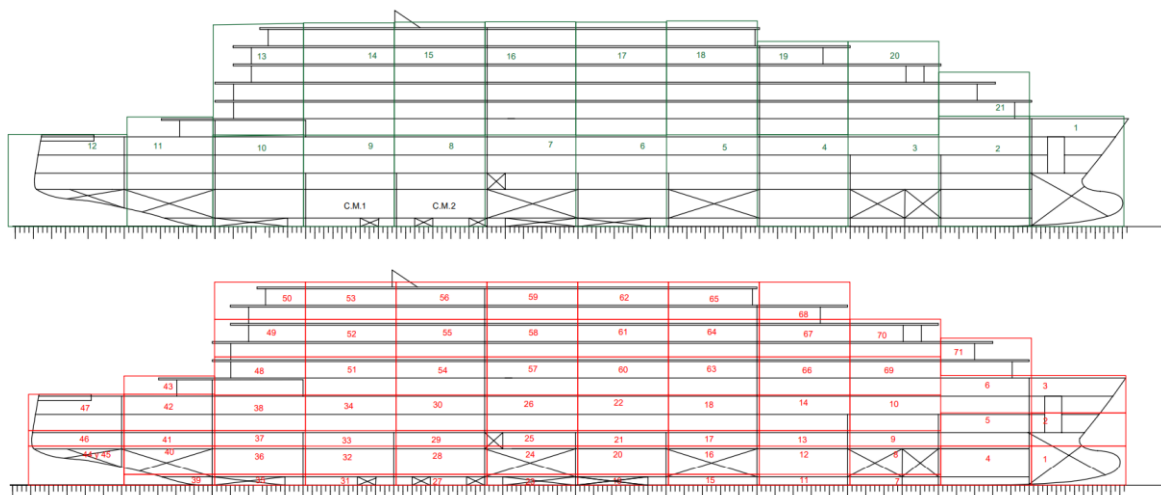


Figura 32: Despiece del buque caso 3. Elaboración propia.

El número total de subbloques obtenidos es de 71 lo que supone 31 subbloques menos y el número total de bloques asciende a 21 bloques que se dividirán nuevamente el bloques de caso y de superestructura. Cada subbloque se dividirá a su vez en unidades abiertas, obteniendo finalmente un total de 398 componentes.

7.3.2 Secuencia de fabricación y montaje

Para establecer la secuencia de fabricación y montaje se procede de la misma manera que en los casos anteriores. En primer lugar, se determina la secuencia de montaje de los bloques en la grada que será de tipo piso, es decir primero se montarán los bloques inferiores comenzando por aquellos que contienen la cámara de máquinas y desplazándose hacia proa, una vez todos los bloques inferiores han sido ensamblados se montan los bloques superiores en la dirección popa proa. La secuencia definitiva se encuentra recogidas en las tablas.

La secuencia de ensamblaje de los subbloques será en orden ascendente montando primero los bloques inferiores y posteriormente los superiores. Por otro lado, las unidades abiertas seguirán el criterio descrito previamente para el caso 1: primero se montarán las unidades abiertas de cubierta, posteriormente los mamparos y finalmente las unidades abiertas de forro. Por tanto, el orden de fabricación vendrá definido por el orden de montaje de los bloques en la grada. En primer lugar, se fabricarán los subbloques pertenecientes al primer bloque y así sucesivamente. Dentro de cada bloque el primer subbloque en fabricarse será el subbloque inferior. Siguiendo estos criterios se define la secuencia.

A continuación, se muestra una tabla con un resumen del despiece obtenido para los tres casos planteados:

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Lpp buque (m)	145	145	168
B buque (m)	24	24	20
N.º bloques	27	27	21
Peso medio bloques (t)	202	198	275
N.º subbloques	102	100	71
L media subbloque (m)	15,5	15,7	14,7
B media subbloque (m)	11,3	11,4	18,4
Peso medio subbloques (t)	49,3	49,3	72,4
N.º unidades abiertas	456	424	398

Tabla 16: Resumen despiece del buque. Elaboración propia.

Como se puede comprobar el caso 1 es para el que se obtiene un número de productos intermedios mayor y un peso medio menor. Por otro lado, el caso 3 correspondiente al buque para el cual el proceso constructivo se ha tenido en cuenta desde el principio es el que presenta un número de componentes menor, pero con un mayor peso medio y unas dimensiones de subbloque más ajustados al tamaño de la celda de construcción.

Las Estrategias Constructivas se encuentran detalladas en el Anexo XIV: Tablas Estrategia Constructiva.

8 MODELO DE SIMULACIÓN

8.1 Descripción del proceso

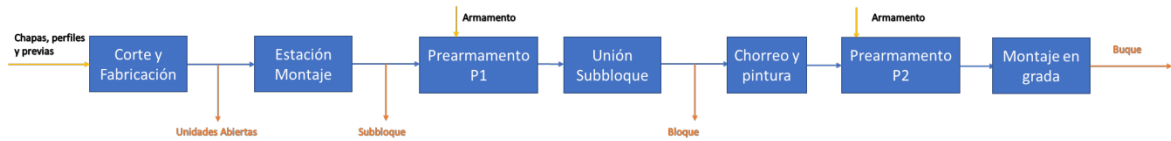
En este trabajo se plantea el proceso constructivo de un buque de pasaje con capacidad para 360 pasajeros en el astillero, centrándose en el ensamblaje de los productos intermedios que conforman el buque hasta la obtención del producto final. El caso se inspira en una empresa de construcción naval no especializada en la construcción de buques de tipo crucero que quiere irrumpir en el sector y, con el fin de minimizar el riesgo de la operación, precisa conocer los efectos del despiece del buque en productos intermedios sobre el proceso constructivo. Los productos intermedios que se considerarán para este proceso son los siguientes:

- Unidades abiertas: las unidades abiertas son el resultado de la unión de los paneles junto con los refuerzos longitudinales y transversales correspondientes. Para el estudio llevado a cabo se partirá de las unidades abiertas como elemento fundamental y no se profundizará en la fabricación y unión de los elementos de menor nivel. Las unidades abiertas pueden ser de tipo mamparo, cubierta o forro en función de la posición que ocupen dentro del buque.
- Subbloque: el subbloque es el producto resultante del ensamblaje de varias unidades abiertas de diferentes tipos con lo que se consigue un producto intermedio tridimensional y sobre el cual ya se pueden llevar a cabo actividades de prearmamento.
- Bloque: el bloque se forma mediante el ensamblaje de varios subbloques para formar una parte completa e independiente que posteriormente se montará en grada para constituir el buque. El bloque ha de pasar por una serie de actividades previas a su montaje en grada.

El proceso planteado está constituido por una línea de ensamblaje en la cual se van montando los productos intermedios antes de avanzar a la siguiente fase. El proceso comienza con la fabricación de las unidades abiertas que se llevará a cabo en la estación de corte y fabricación. En esta estación se llevan a cabo las siguientes operaciones que no figuran dentro del modelo y a las cuales se les asigna un tiempo fijo: preparación, corte y marcado de las chapas, incorporación de perfiles longitudinales y soldadura de previas y refuerzos. Una vez las unidades abiertas han sido fabricadas pasan a la siguiente fase del proceso que es el montaje de los subbloques que se lleva a cabo en las estaciones de montaje donde se realiza el posicionado, punteado y soldadura de las unidades abiertas siguiendo la secuencia obtenida mediante el estudio de la estrategia constructiva. Cuando han sido ensambladas todas las unidades abiertas que figuran en la estrategia constructiva se obtiene el producto intermedio denominado subbloque que pasará a la siguiente estación donde se realiza el prearmamento fase 1. El proceso estudiado no incluye como producto intermedio el material de prearmamento por lo que solo se contempla en el proceso un tiempo fijo para las operaciones de armamento que ha de superar el subbloque antes de pasar a la siguiente fase que es la fase montaje de los subbloques. En la estación de unión de subbloques estos se irán ensamblando en función de la estrategia constructiva hasta conseguir la formación del bloque. Esta fase incluye el volteo, el posicionamiento y la soldadura de los diferentes subbloques. Una vez el bloque ha sido ensamblado pasa a la estación de chorreo y pintura y posteriormente a la estación de prearmamento fase 2 donde se instalarán los últimos equipos y sistemas que conforman el prearmamento antes de su montaje final en grada. Los bloques se irán montando en grada siguiendo la secuencia descrita hasta la formación completa del buque. Cuando se completa toda la secuencia el buque ya está listo para ser botado y aquí finaliza el proceso.

El proceso está centrado en la etapa de prefabricado. Se contemplan todas las actividades del proceso para tener un esquema completo del proceso constructivo y poder disponer de

una base para analizar los tiempos de entrega total aunque no es el objetivo principal del trabajo.



8.2 Análisis de datos

En la simulación de procesos la recopilación y análisis de datos es una tarea fundamental para lograr el desarrollo de un modelo capaz de representar el proceso constructivo de manera efectiva debido a que tendrán un gran efecto sobre la calidad y la precisión de los resultados obtenidos. El acopio de información puede llevarse a cabo de numerosas maneras. Resulta interesante hacer una visita a las instalaciones del astillero para conocer en primera persona el proceso constructivo y visualizar los productos intermedios, así como, entender las diferentes fases por las que estos transcurren hasta la botadura del buque. Además, el personal del departamento de producción del astillero puede dar una comprensión más extensa del proceso. Lo más adecuado sería que la empresa proporcionase al modelador datos del proceso real basados en experiencia previa en trabajos similares como por ejemplo tiempos de producción y capacidades de las instalaciones. Sin embargo, en procesos tan complejos como la construcción de un buque la medida de tiempos resulta compleja debido a una gran variabilidad por lo que el modelo recurrirá a datos generalistas que permitan obtener una aproximación realista de los tiempos del proceso constructivo. Los recursos online sobre los procesos constructivos en astilleros reales también son una fuente de información válida. Finalmente, la base de datos de los componentes y secuencias de fabricados se obtienen de la estrategia constructiva detallada en el apartado 7 desarrollada a partir del anteproyecto del buque crucero.

Una vez recolectada los datos y conocido el proceso, el modelador debe analizarlos para extraer aquella información útil para el modelado que constituye un punto de gran importancia en el proceso de simulación. La información extraída ha de ser suficiente para rellenar los siguientes campos que nos permitirán el modelado de la línea:

1. Clasificación de los productos intermedios
2. Dimensiones de los productos
3. Tipo y cantidad de componentes en cada producto
4. Secuencia de fabricación y montaje
5. Tiempos de los subprocesos de construcción
6. Plazos

En ocasiones es necesario el filtrado de datos para eliminar aquellos datos que no son relevantes en el proceso o que no resultan fiables. Una vez se han procesado los datos el siguiente paso es llevar a cabo el análisis de los parámetros de diseño más característicos a la hora de realizar el modelo.

8.2.1 Estudio de componentes

En primer lugar, se lleva a cabo un estudio de los productos del proceso con el fin de conocer su tipología, sus dimensiones y su naturaleza. Toda la información sobre los componentes se obtiene de la estrategia constructiva donde se puede consultar datos relativos a la cantidad, el peso, el tipo o las dimensiones de las diferentes partes que compondrán el buque.

- Unidades abiertas

Las unidades abiertas son el primer producto obtenido en el proceso y están formadas por paneles y previas, y los paneles, a su vez, se componen de chapas y perfiles. Las unidades abiertas pueden clasificarse atendiendo a dos criterios. La primera clasificación hace referencia a la forma de los paneles pudiendo resultar unidades abiertas planas que se corresponden con el 87% del total y unidades abiertas curvas que son el 13%. En segundo lugar, existen unidades abiertas de forro, doble fondo, mamparos y cubiertas en función del lugar que ocuparán dentro de la estructura del buque. Los porcentajes de cada tipo y cantidad total se muestran en la Tabla 17. El 100% de los paneles curvos son parte del conjunto formado por las unidades abiertas de tipo forro. Conocer la naturaleza de los componentes permiten dimensionar los recursos de la línea.

Tabla 17: Tipos de unidades abiertas atendiendo al lugar que ocupan en la estructura. Elaboración propia.

Tipo de unidad abierta	Número	
Forro	178	39%
Cubierta	151	33%
Doble fondo	15	3%
Mamparo transversal	75	16%
Mamparo longitudinal	37	8%
TOTAL	456	100%

Las dimensiones de las unidades abiertas vienen determinadas por el escantillonado de la estructura y el compartimentado del buque proyecto, así como el despiece del buque en unidades constructivas de menor tamaño. Las dimensiones de los componentes nos permitirán dimensionar las celdas en el modelo.

Tabla 18: Dimensiones unidades abiertas. Elaboración propia

Valor promedio (m)	x	y	z ¹
Doble fondo	15,3	9,6	1,4
Cubierta	15,6	11,2	0,1
Forro	12,7	4,6	1,0
Mamparo transversal	10,2	4,0	0,1
Mamparo longitudinal	9,0	4,5	0,1

- Subbloques

El proceso da como resultado la fabricación de 102 subbloques que son el resultado de la unión de varias unidades abiertas. La información de mayor importancia relativa a los subbloques es su tamaño y peso, así como sus dimensiones y el número de unidades abiertas que lo conforman dado que esto tendrá un efecto significativo sobre el tiempo total dedicado a su prefabricación. El número total de unidades abiertas que constituyen cada subbloque tiene un valor medio de 5 aunque varía en función del subbloque. Por otra parte, gracias a la estrategia constructiva se conoce el peso y medidas de los subbloques que condicionarán las instalaciones o equipos empleados en taller.

- Bloques

Tras la unión de varios subbloques se obtienen 27 bloques de mayor tamaño. Cada bloque está formado por un número de subbloques comprendido entre 2 y 6. El 70% de los bloques son el resultado del ensamblaje de 4 subbloques. El tamaño y el peso de los bloques

¹ El valor promedio de z es orientativo puesto que no se ha considerado la altura de los refuerzos.

viene determinado por las instalaciones del astillero y delimitan la capacidad máxima de las grúas disponibles, así como del espacio necesario para llevar a cabo el ensamblaje.

Tabla 19: Dimensiones y peso promedio bloques y subbloques. Elaboración propia.

Valor promedio	x (m)	y(m)	z(m)	Peso (t)
Subbloques	15,5	11,4	5,0	39,1
Bloques	16,1	11,8	5,4	147,7

- Producto final

El buque se monta en una grada y es entregado tras un proceso denominado botadura. Toda la información relativa al buque se puede encontrar en el anteproyecto del buque. Para el desarrollo del modelo la única información necesaria es el tamaño del buque lo que permitirá dimensionar la celda donde tiene lugar el proceso de ensamblaje de los bloques. El buque proyecto cuenta con una eslora total de 150 metros, una manga de 24 metros, un puntal hasta cubierta principal de 8.8 metros y un total de 10 cubiertas que alcanzan una altura máxima de 32.2 metros.

8.2.2 Estudio del proceso constructivo

El análisis de la estrategia constructiva proporciona la información necesaria sobre la secuencia de ejecución del proceso constructivo. Cada subbloque estará constituido de una unidad abierta base sobre la que se montan el resto de unidades abiertas siguiendo la secuencia de montaje establecida en la estrategia constructiva. Al mismo tiempo, los bloques estarán formados por un subbloque base sobre el que se ensamblarán por orden el resto de componentes. Los componentes base están identificados mediante un orden de secuencia igual a cero.

Los tiempos de fabricación de cada etapa del proceso se han estimado a partir del análisis de datos de un astillero real y estos datos han sido contrastados con expertos en el proceso. El análisis de los datos permite asignar unos tiempos fijos para las actividades de fabricación de las unidades abiertas, prearmamento y chorreado y pintura. El propósito del modelo es cumplir un plazo de entrega del buque de 8 meses, que se ha establecido como un objetivo realista en función del estado actual del sector de la construcción de buques de tipo crucero.

A la hora de llevar a cabo el diseño del modelo es de vital importancia seleccionar los indicadores o parámetros adecuados que permitan dimensionar los recursos de la línea y conocer los tiempos correspondientes a las actividades de ensamblaje. La estrategia constructiva ofrece información sobre los metros de cordón de soldadura necesarios en cada operación de ensamblaje la cual permite estimar el tiempo total de cada operación gracias a un ratio de soldadura/hora proporcionado por la empresa. Además, se considerará un factor de seguridad debido a ineficiencias en el proceso derivados del factor humano o necesidad de soldar componentes de unión no contemplados. Se realiza un análisis de las horas de mano de obra requeridas para cumplir el plazo máximo, así como los recursos mínimos que ha de poseer la línea.

Tabla 20: Análisis tiempos operaciones de ensamblaje. Elaboración propia.

TIEMPO TOTAL ENSAMBLAJE SUBBLOQUES (meses)					
N.º estaciones	1 operador	2 operadores	3 operadores	4 operadores	5 operadores
1	84,8	43,0	29,1	22,1	18,0
2	42,4	21,5	14,6	11,1	9,0
3	28,3	14,3	9,7	7,4	6,0
4	21,2	10,8	7,3	5,5	4,5
5	17,0	8,6	5,8	4,4	3,6
6	14,1	7,2	4,9	3,7	3,0
7	12,1	6,1	4,2	3,2	2,6
8	10,6	5,4	3,6	2,8	2,2
TIEMPO TOTAL ENSAMBLAJE BLOQUES (meses)					
N.º estaciones	1 operador	2 operadores	3 operadores	4 operadores	5 operadores
1	27,7	14,2	9,7	7,4	6,1
2	13,9	7,1	4,8	3,7	3,0
3	9,2	4,7	3,2	2,5	2,0
4	6,9	3,5	2,4	1,9	1,5
5	5,5	2,8	1,9	1,5	1,2
6	4,6	2,4	1,6	1,2	1,0

Si se contempla un tiempo de 5 meses dedicados a la prefabricación de los subbloques el takt time de la línea de prefabricación ha de ser:

$$Takt\ Time_{prefabricado-sbq} = \frac{5\ meses * 320 \frac{h}{mes}}{102\ subbloques} = 15.7h$$

La estimación de 5 meses para completar el prefabricado de los subbloques proviene de considerar que el plazo total de ejecución del proyecto es 8 meses. Considerando que no existen paradas intermedias, a mayores del prefabricado del subbloque, este plazo debe abarcar la fabricación de las unidades abiertas del primer subbloque y el prearmamento, pintado y unión del último bloque. Considerando los tiempos de cada etapa del proceso, se estima que estas actividades requieren entre 2 y 3 meses para ejecutarse y en el peor de los casos la prefabricación de los subbloques debe de completarse en 5 meses para cumplir el plazo establecido. Lo cual significa que la línea de prefabricado debe de ser capaz de entregar un subbloque al día, considerando que un día laboral está formado por dos turnos de trabajo. El análisis debe llevarse a cabo para todas las actividades del proceso constructivo.

8.3 Descripción del modelo

Tras el estudio de toda la información recolectada se considera que el conocimiento sobre el proceso productivo es lo suficientemente profundo como para desarrollar el modelo de simulación. Esta fase consiste en traducir toda la información analizada a un modelo capaz de ofrecer resultados válidos y representativos de la realidad y para ello se emplea el software de simulación FlexSim.

FlexSim es un simulador de eventos discretos que permite modelar, simular, visualizar y monitorear las actividades del proceso. La simulación otorga la posibilidad de ejecutar el modelo y probar diferentes escenarios para conocer los efectos de las diferentes configuraciones sin necesidad de modificar el “mundo real” y así facilitar la toma de decisiones. FlexSim se presenta como una herramienta potente y fácil de utilizar, siendo uno de los software de simulación más avanzado y empleado en el sector industrial. El software dispone de un entorno virtual 3D el cual permite emular la apariencia el sistema real facilitando la visualización y comprensión del proceso. La existencia de una biblioteca de objetos estándar con una lógica preprogramada permite construir los modelos de una forma rápida y sencilla. Estos modelos pueden personalizarse, mediante el empleo de las lógicas preprogramas en FlexSim o bien mediante “Custom Codes” llevados a cabo por el modelador que modifican la lógica de este y pueden enlazarse unos con otros simulando el comportamiento del flujo de ítems en el modelo. También es posible crear librerías propias con objetos personalizados cuya apariencia puede importarse en formato 3D para replicar la apariencia del sistema real.



Figura 33: Biblioteca de objetos estándar de FlexSim. Fuente: FlexSim

Sin embargo, el entorno 3D puede verse limitado a la hora de llevar a cabo lógicas de programación más complejas por lo que FlexSim también cuenta con un entorno 2D o Process Flow que permite construir lógicas bases y complejas mediante esquemas de flujo que pueden ser conectados a su vez con el modelo 3D. Esto permite desarrollar modelos de gran complejidad que pueden representar todo tipos de procesos y lógicas.

El modelo empleado para el estudio del trabajo es un modelo simplificado y conceptual de un astillero que está constituido por las estaciones necesarias para llevar a cabo el proceso constructivo. La lógica empleada no está dotada de una gran complejidad y se ha procurado simplificarla en la medida de lo posible ya que el interés de este trabajo está centrado en el efecto de las diferentes configuraciones del compartimentado del buque sobre el proceso constructivo y no del modelo en sí.

A continuación, se muestra un diagrama de flujo simplificado del proceso constructivo del buque donde se puede comprobar la lógica implementada en el modelo para cumplir la secuencia establecida:

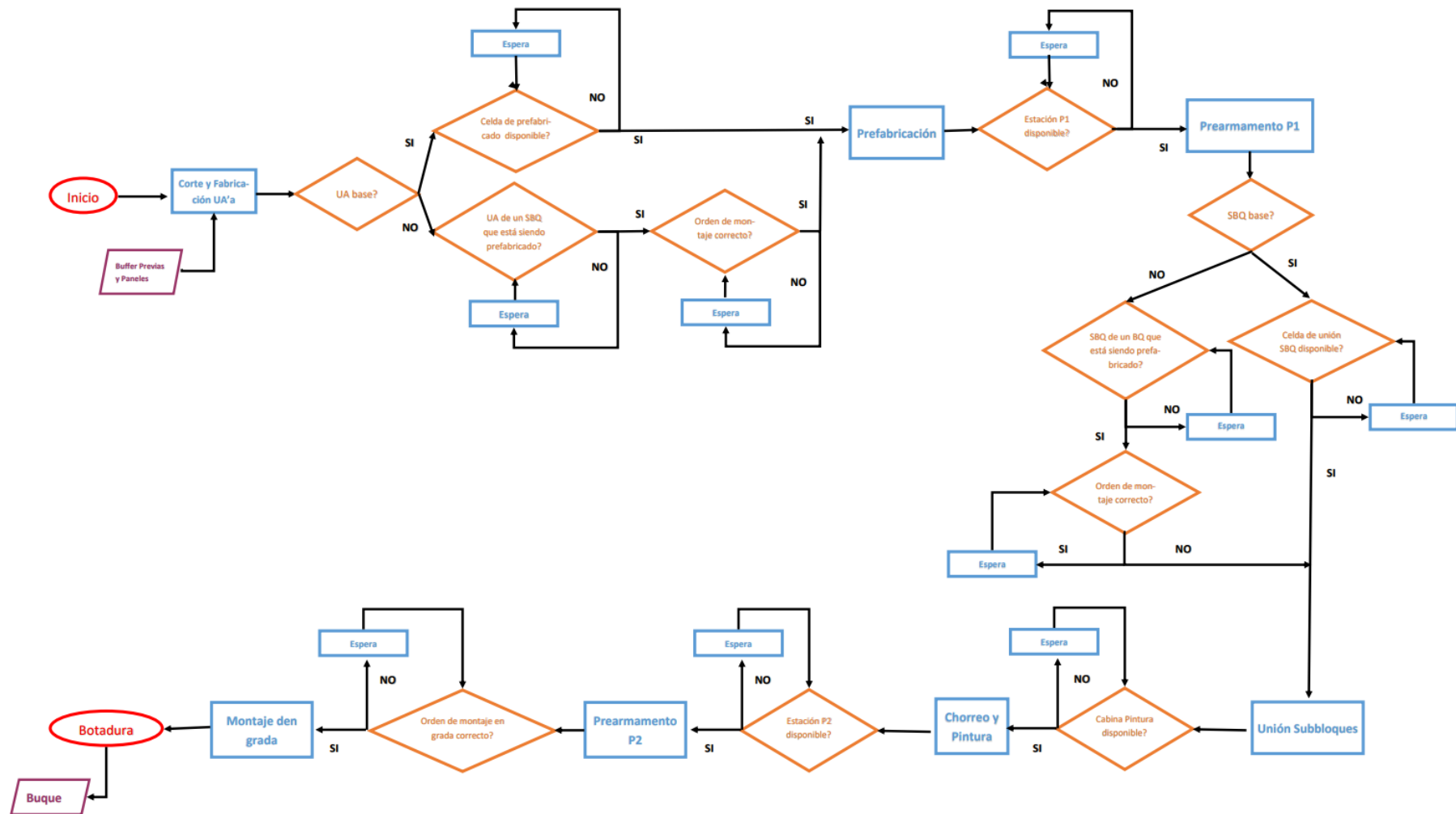


Figura 34: Diagrama de flujo del proceso. Elaboración propia

Con el fin de obtener un modelo preciso pero simplificado se ha optado por eliminar aquellas actividades del proceso productivo que no influyen significativamente en los resultados del estudio planteado. Para ello se han asumido una serie de hipótesis enunciadas a continuación que junto con el diagrama de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** facilitan la comprensión del proceso y la lógica a implementar:

1. No se modela el proceso de corte de fabricación de las chapas y previas puesto que el tiempo invertido en esta tarea no variara significativamente en función del compartimento que es el principal estudio de interés.
2. Se considera un tiempo fijo para las acciones de armamento, chorreado y pintura.
3. Se asume que el material para la elaboración de las unidades abiertas está siempre disponible cuando se necesita sin importar como ha llegado hasta el buffer.
4. El modelo 3D no contempla las animaciones dentro de las celdas de trabajo
5. No se modela de forma detallada el aspecto de las estaciones de trabajo ni de los componentes con el fin de reducir la carga de trabajo que no interfiere en los resultados. Las unidades abiertas se dimensionan y se modelan como piezas planas que se montarán unas sobre otras en las estaciones de prefabricado.
6. Se asumirá un número de operario necesarios para cada proceso de ensamblaje. El número de operarios requeridos para las operaciones de soldadura de unidades abiertas se mantendrá constante para todas ellas. Se considerará un número de operarios necesarios igual o diferente para las operaciones de ensamblaje de subbloques.
7. Únicamente se modelará el movimiento de operarios en las estaciones de prefabricado y unión de subbloques.
8. Se considera que las unidades abiertas llegan paletizadas por subbloque a la estación de fabricación
9. El estudio se centra en prefabricado ya que el estudio detallado de todas las operaciones del buque excedería el alcance de un trabajo fin de grado y en este caso se quiere centrar el análisis en cómo la estrategia constructiva se ve afectada por el diseño del buque y cómo se puede evaluar su impacto en la fabricación y plazos de entrega a través de la simulación.

Una vez establecidas las hipótesis a seguir ya se puede llevar a cabo el modelado del proceso. En primer lugar, se disponen sobre el entorno 3D los elementos prediseñados de la biblioteca de FlexSim. En una primera etapa de modelado los objetos se dispondrán siguiendo el flujo productivo y se dimensionarán atendiendo al tamaño de la celda de construcción salvo por la grada que debe de poseer unas dimensiones suficientes para contener al buque en su totalidad. Posteriormente, se realizará un diseño conceptual del astillero para hacer una propuesta esquemática del layout.

Los objetos de la biblioteca que se utilizan para realizar el modelado son:

- Queue: colas de almacenamiento o buffers que sirven para almacenar Flow ítems cuando el objeto posterior no está preparado aún para recibirlos. En el modelo se emplean como almacenes de productos intermedios.
- Separator: separa un Flow ítem en múltiples partes. En el modelo se encarga de separar las unidades abiertas que habían sido previamente paletizadas por subbloques en el proceso de fabricación.
- Processor: se utiliza para simular el procesamiento de los objetos en el modelo. Se emplea para simular las estaciones de prearmamento y las cabinas de pintura. Se modificará la forma 3D de los procesadores para ajustarse al tamaño de la celda y se modificará el tiempo de procesamiento en función de las características del sistema.
- BasicFR: es un fixed resource que está diseñado para personalizarse en un objeto de biblioteca de usuario. En el modelo se emplean para recrear las estaciones de prefabricado, tanto de subbloques como de unión de bloques, así como la grada donde se montan los bloques.

- Operator: se añadirán al modelo el número de operarios necesarios para llevar a cabo las tareas de soldadura y ensamblaje de bloques.
- Crane: se modelará una grúa en el taller de prefabricado que será la encargada de transportar las unidades abiertas hasta la celda correspondiente y una vez soldadas todos los componentes de un subbloque transportan este hasta la siguiente etapa del proceso. Se decide modelar la grúa para representar el movimiento interno de los componentes en el taller de prefabricado que es la etapa de trabajo donde profundiza este TFG.
- Conexiones: se enlazan entre sí los diferentes objetos 3D del modelo, representando el flujo de Flow ítems a través del modelo.

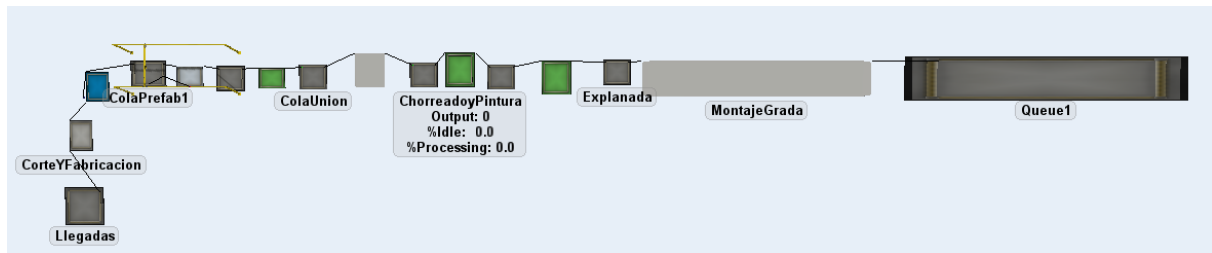


Figura 35: Objetos 3D FlexSim. Elaboración propia.

Tras la disposición de todos los objetos con las dimensiones adecuadas y el tamaño correcto se obtiene el layout preliminar del astillero diseñado. Se colocarán buffers entre las distintas etapas del proceso para impedir que una estación pare de funcionar pese a estar ocupadas las siguientes etapas. Por tanto, se dispondrán varias zonas en el modelo. En primer lugar, está zona de fabricación donde se crean los Flow ítems y se fabrican las unidades abiertas, la zona de prefabricado donde se lleva a cabo el ensamblaje de las unidades abiertas para obtener los subbloques, así como la unión de los subbloques para formar los bloques de mayor tamaño, la zona de armamento y acabado de superficies formada por las estaciones de prearmamento y las cabinas de pintura y finalmente la grada donde se lleva a cabo el montaje final del buque crucero. El siguiente paso es desarrollar las lógicas que definirán el comportamiento del proceso mediante la herramienta de Process Flow.

8.3.1 Lanzamiento OT

Este Process Flow es el encargado de crear los objetos en el modelo 3D. El primer paso es crear un bucle que se ejecutará un número de veces igual al número de subbloques garantizando que se generan todos los componentes que forman el buque. Para ello, cuenta en la Global Table PrefabricadoSBQ el número total de filas que coincide con el número total de subbloques. Esta tabla contiene toda la información relativa a los subbloques como su ID, el bloque al que pertenecen, las secuencia de montaje, la posición que ocupa y el número de operarios que se requiere para su ensamblaje.

Posteriormente, para cada subbloque se crea un palé en el objeto 3D del modelo "Llegadas" sobre el que disponen todas las unidades abiertas que constituyen el subbloque. Para llevar a cabo esta acción se crea otro bucle dentro del cual se cuentan el número total de unidades abiertas asignadas a ese subbloque, se leen los datos de las unidades abiertas de la Global Table ComponentesSimplificados y se redimensionan. Una vez se han completado todas las unidades abiertas se pasa a crear los componentes del siguiente subbloque. La Global Table ComponentesSimplificado contiene la numeración y código de cada unidad abierta, así como el subbloque al que pertenecen y sus dimensiones.

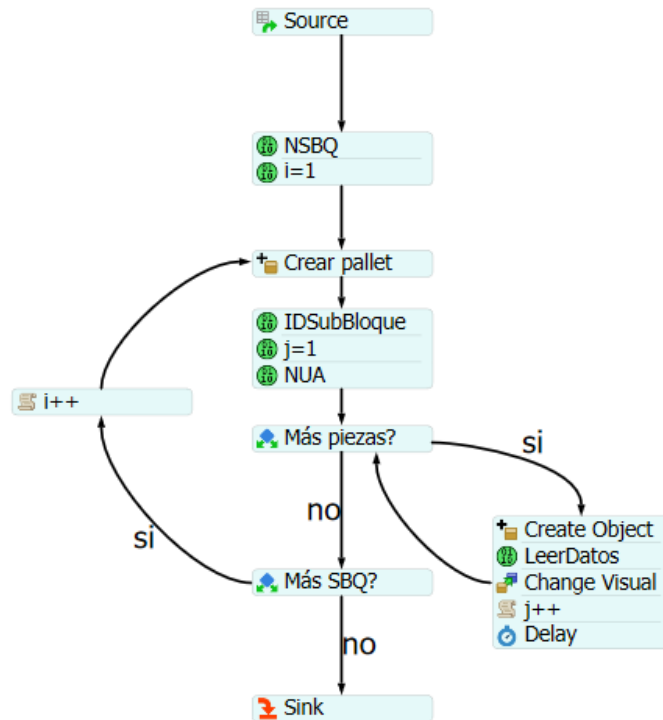


Figura 36: Process Flow LanzamientoOT. Elaboración propia.

Para que los componentes se originen en el orden dictado por la estrategia constructiva, se ha añadido otra Global Table llamada SecuenciaFabSBQ en el que figura el orden de fabricación de los subbloques. Antes de colocar las unidades de un subbloque sobre el palé el Process Flow debe comprobar que subbloque es el siguiente que debe ser fabricado para cumplir la secuencia establecida.

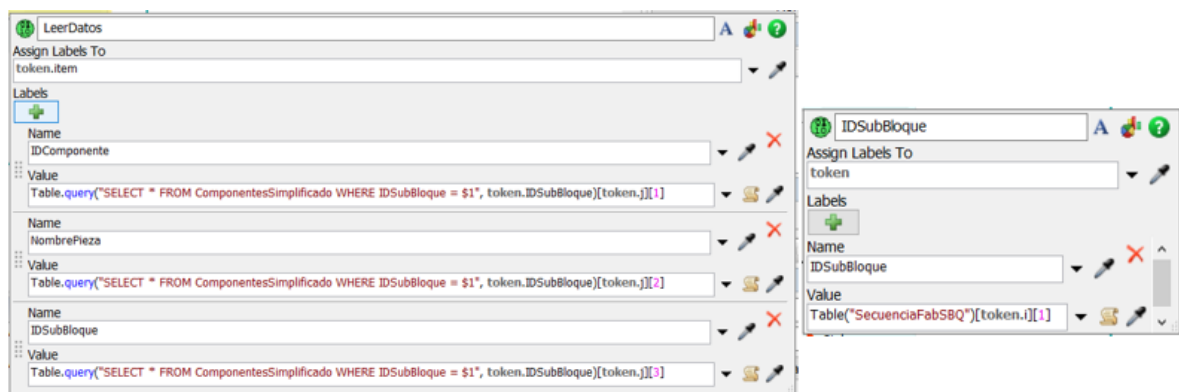


Figura 37: Detalle Process Flow asignar etiquetas. Elaboración Propia.

La asignación de las etiquetas de cada elemento tiene una gran importancia dado que la información que portan será utilizada en las estaciones siguientes del proceso para identificar que subbloque está siendo ensamblado y llevar a cabo los procesos de montaje correspondientes a la secuencia de cada elemento.

8.3.2 Estaciones

8.3.2.1 Estación de Corte y Fabricación de Unidades Abiertas

La primera etapa del proceso se corresponde con la etapa de elaboración de las unidades abiertas. Aunque en un astillero real este proceso consta de varias fases, para modelarlo se empleará una única celda del tipo BasicFR en la que definiremos el tiempo estimado de corte y fabricación de los componentes. La lógica del objeto se programa con un sencillo Process Flow que se muestra en la siguiente figura.

El proceso comienza cuando un ítem entra en el BasicFR del modelo 3D, CorteyFabricación. Cuando esto sucede la actividad Wait for Event del Poces Flow libera el token que había sido creado previamente. Con el fin de poder cumplir los plazos de entrega deseados es necesario que la estación procese las unidades abiertas de varios subbloques de manera simultánea, por lo que el Process Flow debe de crear un número de tokens igual al número de subbloques que se desea procesar, que para este estudio será igual a 5. Es decir, los tokens esperan a que entren los palés con las unidades abiertas de los subbloques que se van a fabricar en la estación de CorteyFabricación y cuando detecta que han entrado, continúan a la siguiente actividad que consiste en el corte de las piezas y fabricación de las unidades abiertas.

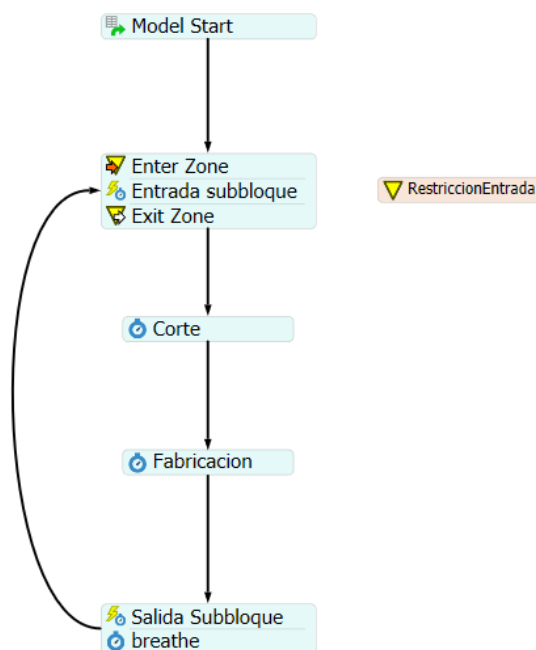


Figura 38: Process Flow Fabricación. Elaboración propia.

El tiempo de corte y fabricación se ha fijado en 80h (40h+40h). Cuando los tokens han completado este tiempo, la actividad Salida Subbloque libera los ítems en el modelo 3D y los tokens pasan a esperar a que entre otro palé de nuevo en un Wait for Event,

Antes de pasar a la siguiente estación, el palé pasa a través de un Separador donde se divide en las unidades abiertas de cada uno de los subbloques. Esta fase es necesaria porque en la siguiente estación del modelo las unidades abiertas constituyen ítems individuales que son tratados por separado y no conjuntamente como hasta ahora. A la salida del separador se dispone una cola donde se almacenarán las unidades abiertas hasta el momento que puedan ser montadas en un subbloque.

8.3.2.2 Estación de Prefabricado de Subbloques

En esta estación se lleva a cabo el ensamblaje de las unidades abiertas para formar los subbloques. Se dispondrán varias celdas de prefabricado en función de las necesidades del proceso.

La entrada de los ítems a las celdas viene determinada por un Pull Requirement que garantiza que solo acceden las unidades abiertas de un único subbloque a cada celda y que lo hacen en la secuencia correcta para ser montadas. Cuando la celda se encuentra disponible puede aceptar ítems de un nuevo subbloque. El Pull Requirement se ha establecido mediante un Custom Code que hace uso de consultas sql para conocer las etiquetas de los componentes. En primer lugar, comprueba el estado de la celda y si la celda se encuentra disponible y la unidad abierta que quiere entrar tiene secuencia 0 (es decir, se trata de una unidad abierta sobre la que se montará el resto del subbloque) la acepta y si no tiene secuencia 0 la rechaza. Si la celda no se encuentra vacía comprueba que la unidad abierta que quiere acceder pertenece al subbloque que está siendo ensamblado y de ser así comprueba que es su turno siguiendo la secuencia establecida en la Global Table SecuenciaPrefabricado.



```
1 /**Custom Code*/
2 Object current = ownerobject(c);
3 Object item = param(1);
4 int port = param(2);
5
6
7
8 if(current.IDSubBloque == 0)
9 {
10     if (current.IDComponente == 0)
11     {
12         Table consultal = Table.query("SELECT Secuencia FROM SecuenciaPrefabricado WHERE IDComponente=$1", item.IDComponente);
13         return consultal[1][1] == current.NSecuencia;
14     }
15     else
16     {
17         return 0;
18     }
19 }
20 else
21 {
22     if (current.IDSubBloque == item.IDSubBloque && item.NivelProducto == 3)
23     {
24         Table consulta = Table.query("SELECT Secuencia FROM SecuenciaPrefabricado WHERE IDComponente=$1", item.IDComponente);
25         return consulta[1][1] == current.NSecuencia;
26     }
27     else
28     {
29         return 0;
30     }
31 }
32 }
33
```

Figura 39 :Custom Code Pull Requirement Prefabricación. Elaboración propia.

La celda de prefabricado, denominada en el modelo estación de montaje, se encuentra representada mediante un objeto BasicFR asociado al Process Flow EstacionPrefabricación. Este objeto se obtiene de una librería previa que se ha empleado como base y que se adapta para ajustarse al caso que se está analizando. Este proceso comienza cuando una unidad abierta entra en la estación de montaje y la actividad Wait for Event libera el token que fue creado al inicio de la simulación. A este token se le asignan las etiquetas de IDSubBloque e IDComponente que se leen del flow ítem y se le asigna una nueva etiqueta que indica el número de operarios necesarios para llevar a cabo el proceso. El número de operarios se lee en la Global Table SecuenciaPrefabricado a partir del ID del componente. La actividad Posicionar y Rotar dispone el ítem en la posición adecuada mediante un Custom Code que lee la posición x, y, z y la rotación de cada uno de los componentes de la tabla SecuenciaPrefabricado. A continuación, el Process Flow a través de las actividades Resource (“Operarios”) y Acquire Resource (“Ocupar operarios”) ocupa el número de operarios definidos por la etiqueta NumOperarios para llevar a cabo la actividad de preparación de la celda que

incluye las actividades de fabricar la cama del subbloque, montaje de andamios...Para estas actividades se define un tiempo fijo de 4h. Una vez la tarea ha sido completada se cambia el color del Flow ítem para obtener una representación visual de la evolución del proceso de montaje en el entorno 3D y se liberan a los operarios que habían sido ocupados previamente.

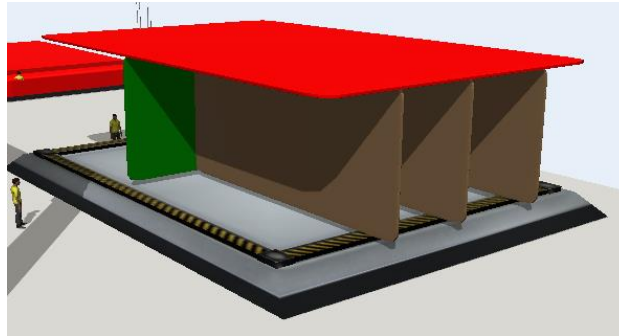


Figura 40: Ensamblaje Subbloque 2522 en celda de prefabricado. Elaboración propia.

Sobre la unidad abierta base se ensamblarán el resto de unidades abiertas del subbloque. Para realizar esta tarea, se crea un bucle que se ejecutará un número de veces igual al número de unidades abiertas que hay que montar. Esta cifra se ha guardado previamente en la etiqueta NumComponentes tras haber ejecutado un Custom Code que cuenta en la tabla SecuenciaPrefabricado el número de unidades abiertas que existen en el subbloque que está siendo ensamblado. La lógica planteada permite que varias unidades abiertas puedan ser ensambladas en el subbloque de manera simultánea. Para ello se crea una nueva etiqueta que cuenta el número total de unidades abiertas pertenecientes al subbloque que tienen el mismo número de secuencia y crean los tokens necesarios para poder simular este comportamiento. Cada unidad abierta se coloca en su posición y es montada por el número de operarios establecidos en la tabla SecuenciaPrefabricado a lo largo de un tiempo “Duración montaje” calculado mediante un Custom Code que divide el número de horas de mano de obras necesarios para realizar la unión entre el número de operarios que están realizando la tarea. Gracias a la actividad Batch todos los tokens que habían sido creados para representar a las unidades abiertas con el mismo identificador de secuencia y los agrupa. Cuando el bucle finaliza el subbloque ha sido completado y puede abandonar la celda de montaje, quedando disponible para permitir el acceso del siguiente subbloque.

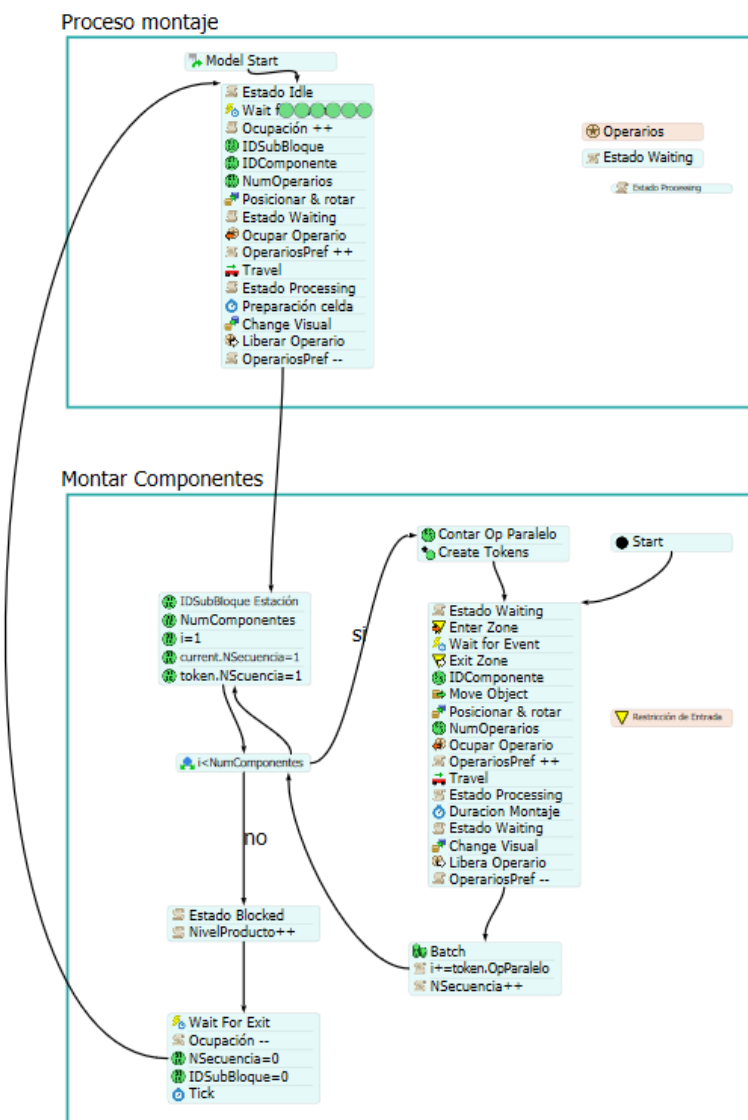


Figura 41: Process Flow EstacionPrefabricacion. Elaboración Propia

8.3.2.3 Estación de Prearmamento P1

La estación de Prearmamento P1 se ha modelado mediante un objeto Processor al que se le ha atribuido la forma de una Queue y las dimensiones de la celda de construcción. Para el prearmamento de fase 1 se ha considerado un tiempo total de 60h. Este tiempo se ha estimado en base al tamaño de los subbloques y la naturaleza de los equipos a ensamblar, fundamentalmente equipos de ventilación, tuberías y soportes eléctricos. Existirán varias estaciones de prearmamento P1 para satisfacer la demanda de subbloques.

8.3.2.4 Estación de Unión de Subbloques

Los subbloques son ensamblados en bloques de mayor tamaño siguiendo el despiece marcado en la estrategia constructiva. Las estaciones serán representadas por objetos 3D de tipo BasicFR. Con el fin de cumplir la secuencia fijada, las celdas denominadas UnionSBQ constan de un Pull Requirement establecido mediante un Custom Code que se encargará de permitir el acceso al subbloque correspondiente y denegárselo si aún no es su turno para ser montado. El comportamiento de este Pull Requirement es el mismo que el utilizado en las estaciones de montaje. Si la celda está libre y el subbloque que quiere acceder tiene secuencia 0, la estación permite su acceso y si no, lo rechaza. Por otra parte, si la celda está

ocupada pero el subbloque pertenece al bloque que está siendo ensamblado y su secuencia se corresponde con current.Secuencia entonces accede a la celda para ser montado. El Custom Code leerá de la Global Table PrefabricadoSBQ la información relativa a cada subbloque como la secuencia que les corresponde y el ID del bloque al que pertenecen que la almacenará en dos variables sec y bq, respectivamente.



```
1 /**Custom Code*/
2 Object current = ownerobject(c);
3 Object item = param(1);
4 int port = param(2);
5
6 if (current.Secuencia==0)
7 {
8     // Aún no ha entrado ningún SBQ
9     int sec = Table("PrefabricadoSBQ")[item.IDSubBloque][3];
10    if (sec==0)
11    {
12        //El item es un SBQ base
13        return 1;
14    }
15    else
16    {
17        //No es una base
18        return 0;
19    }
20 }
21 else
22 {
23     int bq = Table("PrefabricadoSBQ")[item.IDSubBloque][2];
24     int sec = Table("PrefabricadoSBQ")[item.IDSubBloque][3];
25
26     if (current.Secuencia == sec && current.IDBloque == bq)
27     {
28         // El sbq pertenece al bloque de la celda y es la secuencia que toca
29         return 1;
30     }
31     else
32     {
33         return 0;
34     }
35 }
```

Figura 42: Custom Code Pull Requirement UnionSBQ

Para desarrollar el comportamiento de las estaciones UnionSBQ se crea un Process Flow del mismo nombre donde se desarrolla la lógica implantada. Este Process Flow es muy similar al empleado para generar la lógica de las estaciones de prefabricado. En primer lugar, la actividad Wait for Event libera un token cuando un subbloque accede a la celda y se leen las etiquetas NumOperarios, IDSubBloque e IDBloque de la Global Table PrefabricadoSBQ. Posteriormente se toman del Resource los operarios necesarios para ejecutar la actividad de preparación de la cama del bloques y finalmente se liberan cuando han completado el tiempo dedicado a dicha actividad que se ha determinado en 8h. El siguiente paso es montar sobre el subbloque base el resto de subbloques, para lo cual se realiza un bucle que lee el número total de subbloques con token.IDBloque=current.IDBloque. Si aún existen subbloques que no han sido montados el Process Flow espera a que acceda el siguiente a la celda lo coloca en su posición, cuyas coordenadas de obtienen de la tabla PrefabricadoSBQ, sobre el subbloque base y destina un número de operarios a realizar su ensamblaje. El tiempo de operación se calcula dividiendo el número de horas de mano de obra entre los operarios. Cuando la tarea se completa pasa a montarse el siguiente subbloque, así hasta que bloque está completo y abandona la celda. En este momento la celda ya queda disponible y vuelve al principio donde tiene que volver a entrar un subbloque base para repetir el proceso.

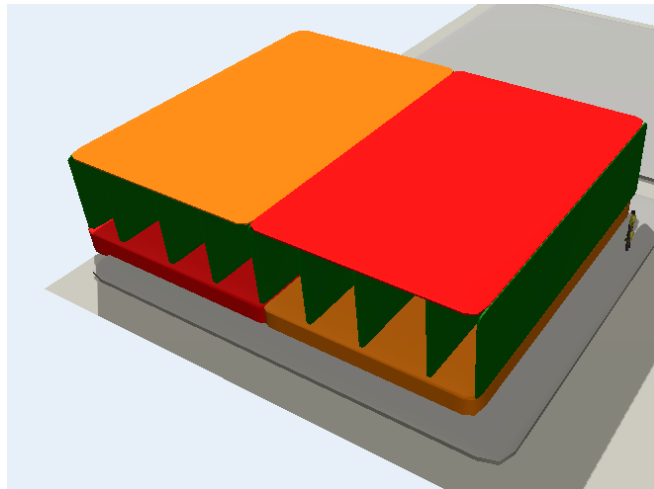


Figura 43: Ensamblaje bloque 1501 celda UnionSBQ. Elaboración propia.

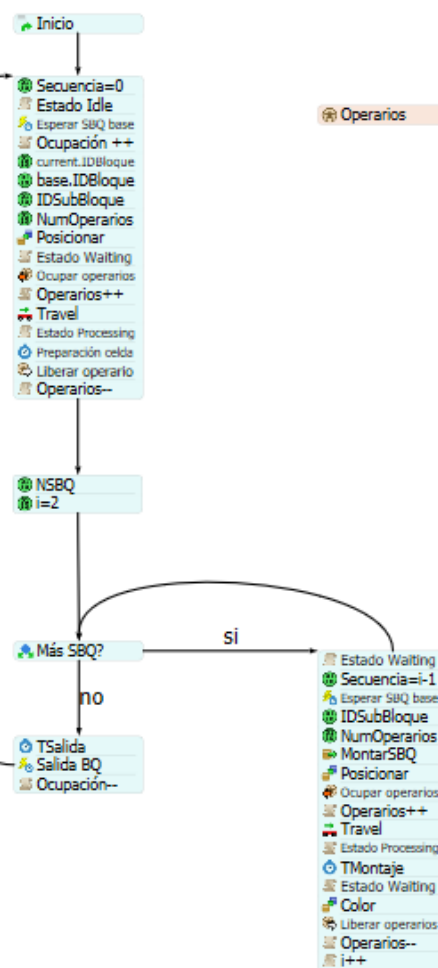


Figura 44: Process Flow UnionSBQ. Elaboración propia.

8.3.2.5 Cabinas de chorreado y pintura

Las cabinas de chorreado y pintura se representan en el modelo mediante objetos de tipo Processor a los que se les ha asignado un tiempo de 240h.

8.3.2.6 Estación de Prearmamento P2

Nuevamente, las estaciones de prearmamento P2 se modelan mediante el empleo de objetos 3D de la librería estándar de tipo Processor. Debido al tamaño de los bloques y a los múltiples equipos y sistemas de diversas tipologías que pueden ser instalados en el buque en esta fase del diseño se considera un tiempo por bloque mayor que en la fase de P1. Por tanto, el tiempo estimado para esta actividad por bloque se fija en 2 semanas, es decir 160 h. Una vez los bloques han superado la estación de Prearmamento P2 se dispondrán a la espera en la cola Explorada hasta que llegue su turno de ser montados en la grada.

Este estudio se centra en la etapa de prefabricado por lo que en una fase posterior se podría ampliar la metodología para considerar el impacto que tendría el cambio en el diseño en el prearmamento (instalaciones, tuberías, etc).

8.3.2.7 Grada

La grada representa la última etapa del proceso constructivo que se considerará en este estudio. En la realidad existiría una fase posterior de armamento a flote y pruebas que en este modelo no se simularán por no tener ningún interés sobre la consulta planteada. La grada ha sido modelada mediante un objeto BasicFR asociada al Process Flow MontajeGrada.

Los bloques se montarán a medida que el Pull Requirement va permitiendo su acceso. Este Pull Requirement es igual al planteado para la unión de los subbloques con la diferencia de toma los datos de la Global Table ListaBloques.

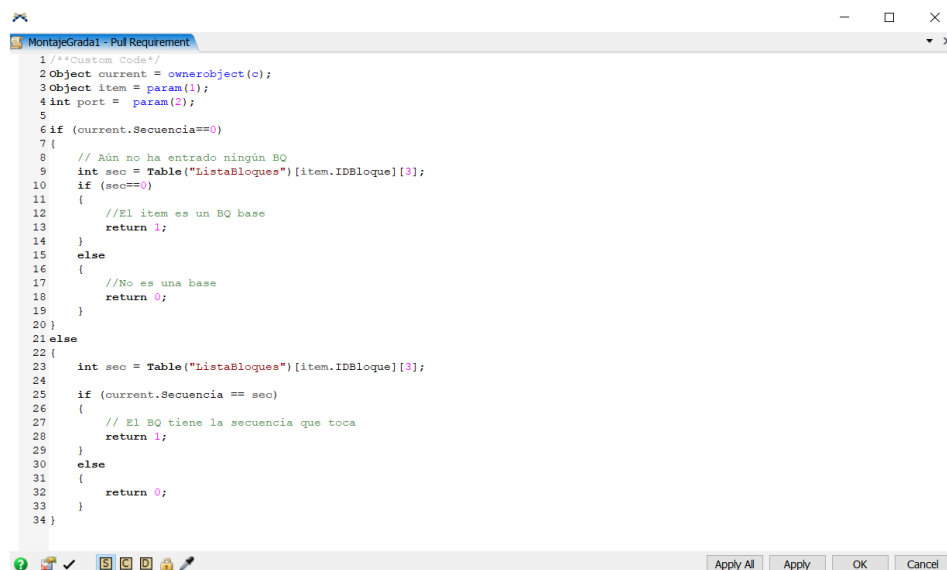


Figura 45: Custom Code Pull Requirement MontajeGrada

El Process Flow Montaje en grada opera de la misma forma que ya se ha explicado previamente para las estaciones de prefabricado. Se ejecutará un bucle que irá montando sobre el bloque base el resto de bloques siguiendo el orden de acceso de bloques a la grada. La información será recolectada de la tabla ListaBloques donde figura el número total de bloques, la secuencia y la posición que ocupa cada bloque dentro del buque. Se han asignado un tiempo de inicio igual a 32 h y un tiempo de montaje de bloque de 16 h.

Una vez se ensamblan todos los bloques, el buque abandona la grada en un evento denominado botadura y para el que se estima un tiempo representativo de 2 h.

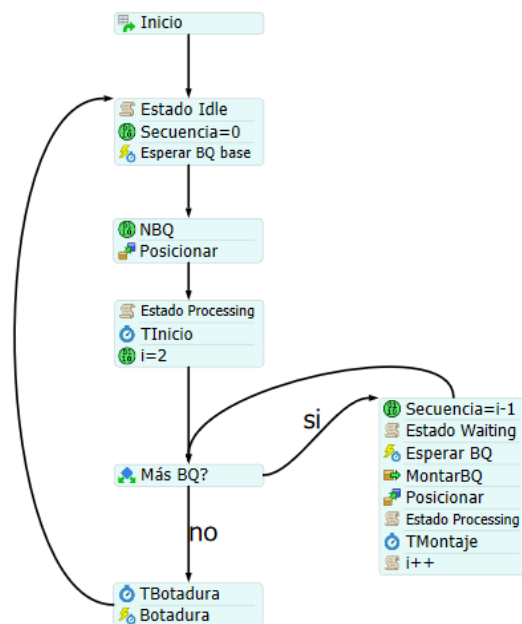


Figura 46: Process Flow MontajeGrada. Elaboración propia.

Como se puede comprobar a lo largo del modelo se han definido Tracked variables que en el apartado de Experimentos y Resultados nos permitirán conocer el estado de las diferentes celdas

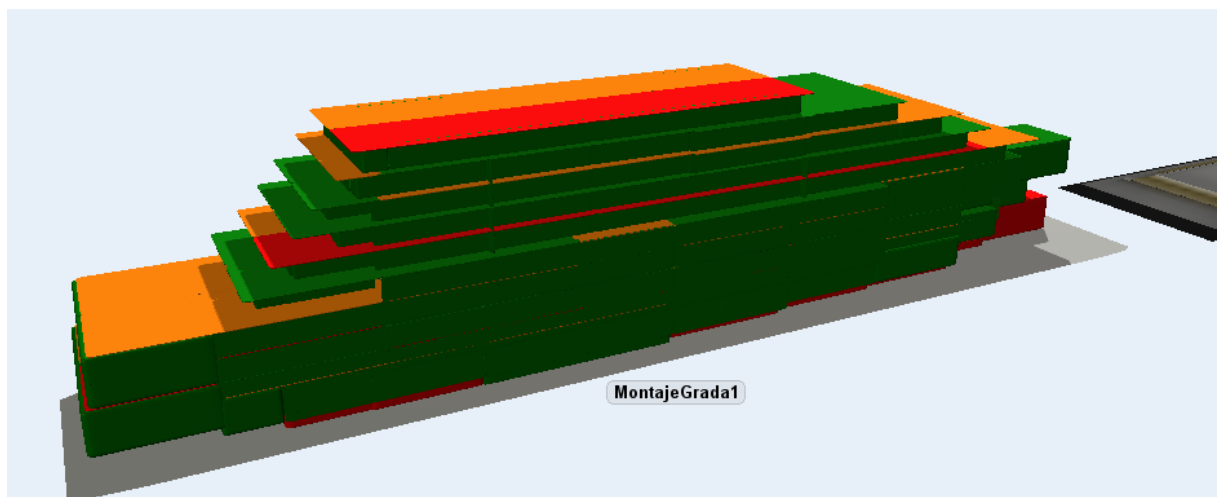


Figura 47: Buque ensamblado en Grada. Elaboración propia.

9 SIMULACIÓN Y RESULTADOS

En este apartado se procede a explicar las simulaciones llevadas a cabo y los resultados obtenidos en cada una de las simulaciones realizadas. El primer experimento llevado a cabo será el dimensionamiento de la línea de producción, es decir, se realiza una simulación que permita conocer el número de celdas necesarias en cada etapa del proceso para el caso del buque proyecto con el fin cumplir el plazo de entrega establecido. Posteriormente se llevará a cabo la simulación de los 3 casos de estudio planteados y se obtendrán los resultados para cada uno de ellos.

9.1 Dimensionamiento de los recursos

El objetivo de este primer experimento es la obtención del número de recursos mínimos para satisfacer el plazo de entrega que se ha establecido previamente en 8 meses para el primer caso de estudio planteado. Una vez conocidos el número de celdas necesarias se planteará un layout del astillero sobre el que se ejecutará el resto de las simulaciones. Cabe mencionar que no entra en el alcance del presente trabajo proponer una planta de astillero optimizada por lo cual solo se ejecutará esta simulación con el fin de plantear una base de análisis que nos permita llevar a cabo la simulación de los casos de estudio y, poder así, analizar el proceso que es lo que nos concierne.

Gracias al análisis de datos realizado previamente en el apartado 8.2 se conoce las horas de mano de obra necesarias para llevar a cabo cada operación de ensamblaje y se han estimado unos tiempos fijos para llevar a cabo el resto de operaciones que permiten tener una estimación del orden de magnitud del tiempo necesario. En la Tabla 20 se puede comprobar el tiempo total que se requiere para completar las operaciones de ensamblaje de subbloques y de bloques en función del número de estaciones y de personal dedicado a cada operación. Se parte de la premisa de que todas las unidades abiertas requieren del mismo número de operadores para ser montada, así como los subbloques.

Tabla 21: Posibles configuraciones modelo. Elaboración propia.

Configuración	Nº celdas fabricación	Nº estaciones de montaje	Nº Op/UA	Nº estaciones P1	Nº estaciones unión SBQ	Nº Op/sbq	Nº cabinas pintura	Nº estaciones P2	Tiempo (h)	Tiempo (meses)
1	5	4	5	4	3	4	4	4	2582	8,1
2	5	4	5	5	3	4	4	4	2556	8,0
3	5	5	4	5	3	4	4	4	2642	8,3
4	5	5	4	5	3	4	5	4	2471	7,7
5	5	6	3	5	3	4	5	4	2554	8,0
6	5	6	3	5	4	3	5	4	2523	7,9
7	5	6	3	5	4	2	5	4	2687	8,4
8	5	5	4	5	4	3	5	4	2484	7,8

En la Tabla 21 se muestra el tiempo total desde que se comienzan a fabricar las unidades abiertas hasta la botadura del buque para diferentes configuraciones planteadas. Como se puede comprobar dimensionando adecuadamente el modelo puede cumplir el pronóstico de un plazo total de 8 meses. Debido al elevado número de componentes que se manejan se decide disponer la configuración que emplea un menor número de operarios para que la ocupación total de operarios durante el proceso no sea demasiado elevada y, por tanto, no resulte desproporcionada para un astillero de tamaño medio, es decir la configuración número 6. Sin embargo, no se plantea la opción de disponer de un número mayor a 6 estaciones de montaje o 4 de unión de subbloque para no sobredimensionar el modelo. A partir de este dimensionamiento se puede obtener un ejemplo de layout con los recursos establecidos. La distribución en planta preliminar se realiza procurando la concentración de las instalaciones con el fin de evitar movimientos innecesarios y es necesario disponer de espacio suficiente entre talleres para realizar el movimiento de los productos intermedios.

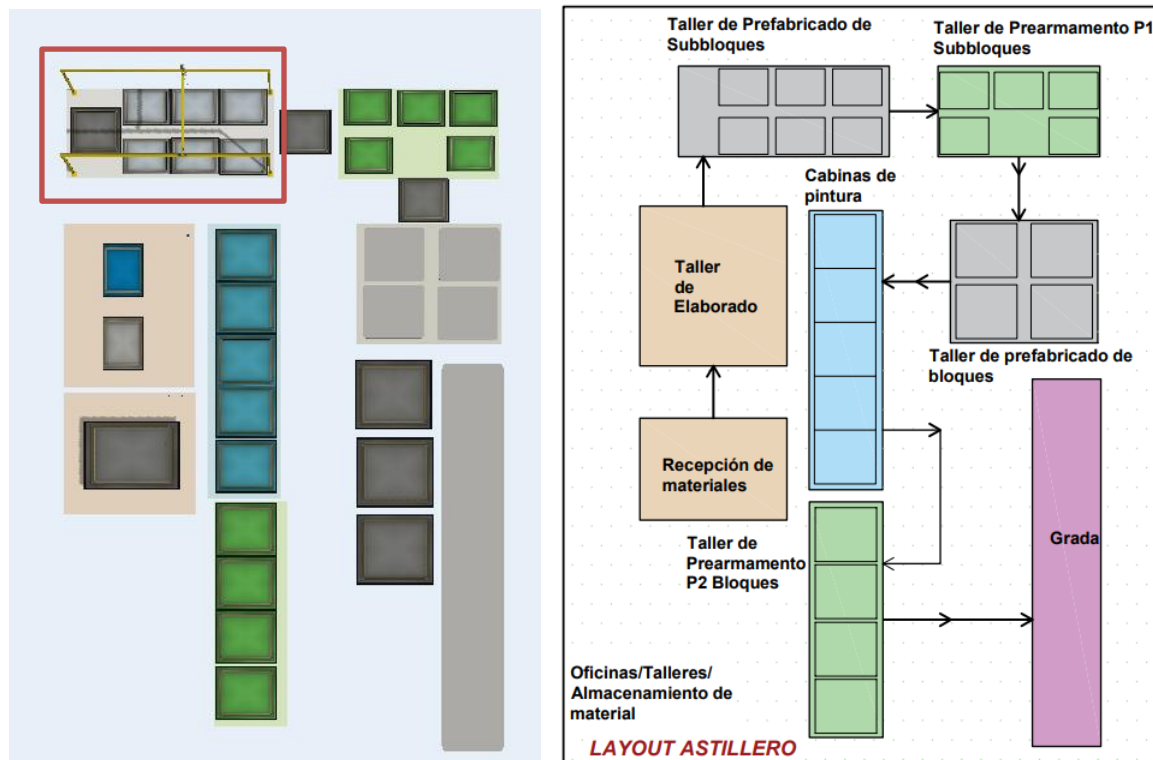


Figura 48: Layout Modelo. Elaboración propia.

En la Figura 48 se encuentra representado el Layout planteado tanto en FlexSim como un esquema donde figuran los nombres de los talleres. El taller de prefabricado de subbloques se encuentra señalado en rojo dado que es la parte del proceso que más interesa en este estudio.

9.2 Simulación del proceso constructivo del buque proyecto

El primer experimento llevado a cabo es la simulación del proceso constructivo del buque proyecto. Este experimento se caracteriza por que el diseño del buque no consideró en ninguna etapa de la espiral de diseño el proceso de construcción del buque. Esto quiere decir que tanto la selección de las dimensiones principales como la definición del compartimentado o disposición general no tuvo en cuenta el tamaño de las instalaciones del astillero.

El compartimentado del buque proyecto se llevó a cabo sin tener en cuenta el tamaño de la celda de construcción ni el posterior despiece del buque en productos intermedios. Como se puede comprobar en la Estrategia Constructiva definida en el apartado 7.1 esto provoca un elevado número de productos intermedios de dimensiones muy variadas y con características diferentes lo que reduce la posibilidad de aplicar los criterios de estandarización de los productos intermedios. También dificulta las tareas de soldadura al disponer de mamparos transversales en una posición central de los subbloques con un acceso más complicado. Además, la manga del buque es mayor al tamaño de la celda de construcción lo que implica que para realizar el despiece del buque en subbloques hay que hacer una división a lo largo de la línea de crujía que separa a los subbloques del cuerpo cilíndrico del buque en subbloques de babor y subbloques de estribor. Al no considerar las fases del despiece del buque en el momento de llevar a cabo la disposición general, los troncos verticales de escaleras se encuentran dispuestos de tal forma que restringen las zonas por las cuales se puede producir el despiece perjudicando el despiece final.

En esta primera simulación se crearán 457 unidades abiertas que se ensamblarán entre sí para la formación de 102 subbloques de mayor tamaño que a su vez se unirán para formar 27 bloques que se montarán en grada como se dispone en la Tabla 22: Características

Simulación 1. El objetivo de esta simulación es conocer el tiempo total de construcción, así como la ocupación de las celdas y los operarios.

Tabla 22: Características Simulación 1. Elaboración propia.

N.º Bloques	27
Peso Medio Bloque	202 t
Desviación Peso Bloque	100 t
N.º Subbloques	102
Peso medio Subbloque	49 t
Desviación Peso Subbloque	24 t
HMO media Subbloque	85 h
HMO total Unión Bloques	8688 h
N.º Unidades Abiertas	456
Peso medio Unidades Abiertas	9 t
HMO medio Unidad Abierta	61 h
HMO total Prefabricado Subbloques	27700 h

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

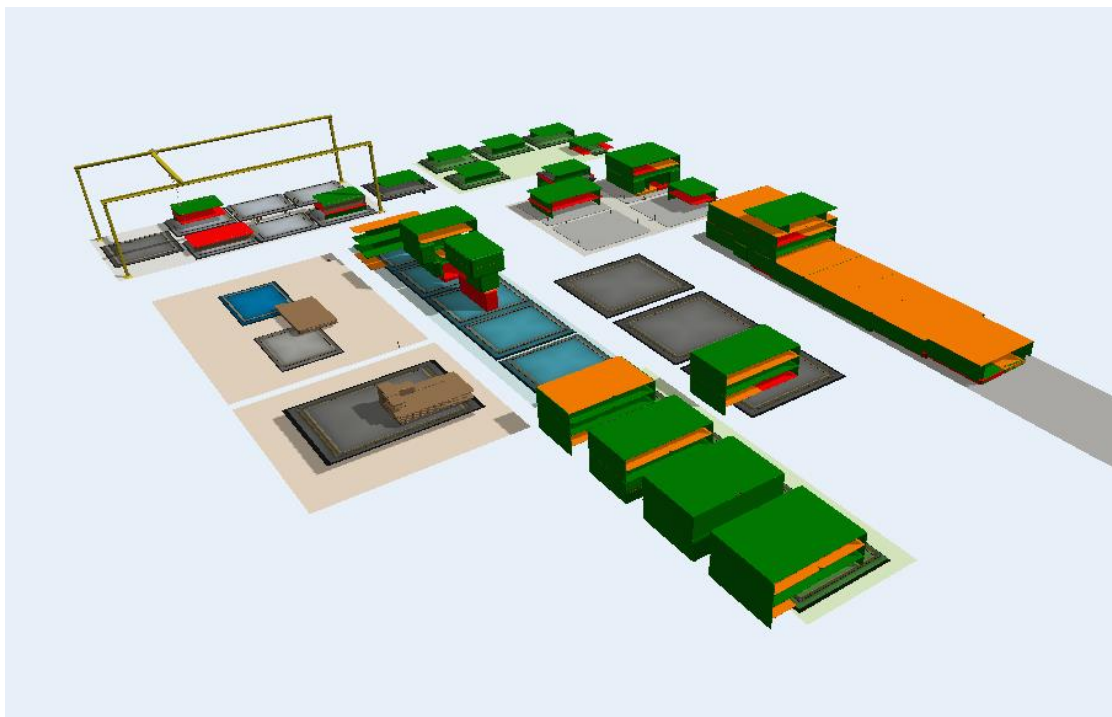


Figura 49: Desarrollo de la simulación. Elaboración propia.

- Tiempo total proceso:

$$T_{totalC1} = 2539,24 \text{ h}$$

$$T_{totalC1} = 7.93 \text{ meses}$$

- Ocupación operarios:

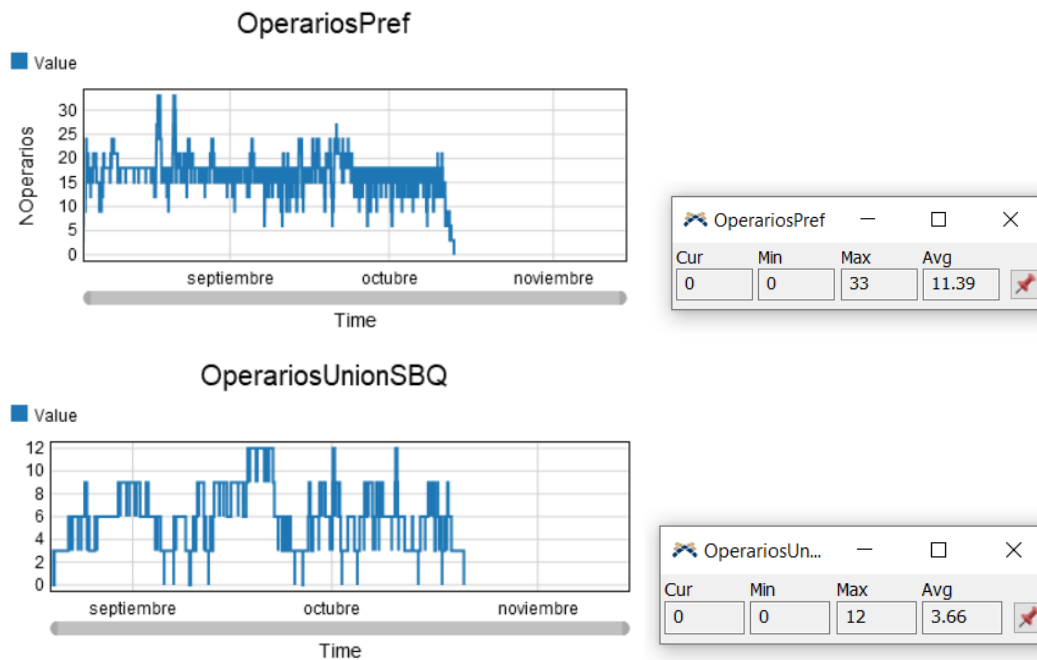
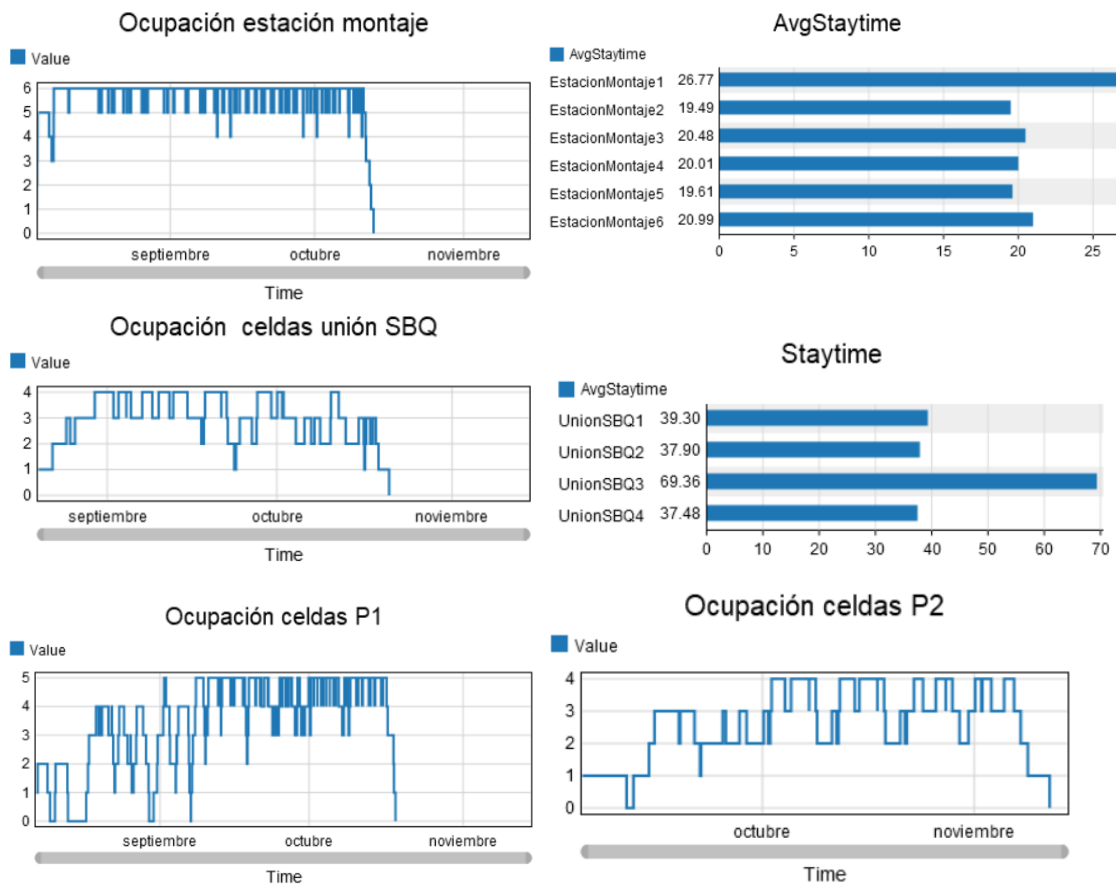


Figura 50: Resultados ocupación operarios prefabricación Simulación 1. FlexSim.

- Ocupación celdas:



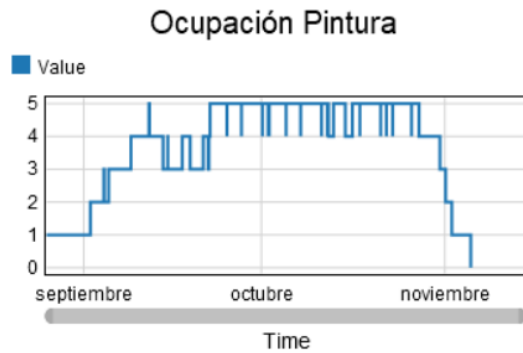


Figura 51: Resultados ocupación celdas Simulación 1. FlexSim.

- Estado celdas:

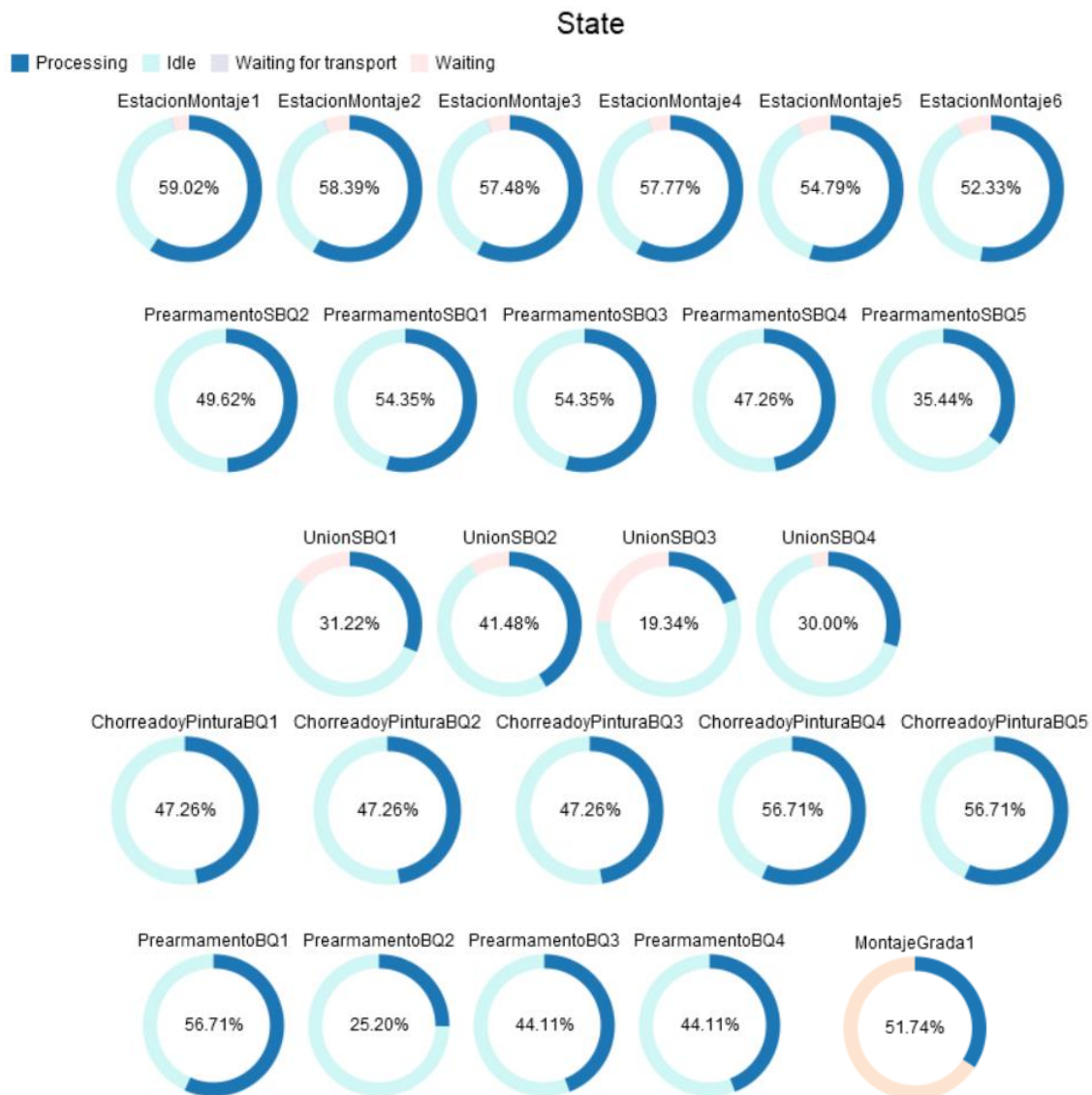


Figura 52: Resultados estados celdas Simulación 1. FlexSim.

9.3 Simulación Caso de Estudio 2

A continuación, se procede a simular el caso de estudio 2 descrito en el apartado 7.2. El objetivo de esta simulación es conocer los efectos sobre el proceso constructivo de diseñar el buque teniendo en cuenta las características del proceso. Para ello, se ha partido de las

dimensiones principales y formas del buque proyecto y se ha modificado el compartimentado considerando el tamaño de la celda de construcción y las capacidades máximas de izado del astillero. Gracias a estas consideraciones, la Estrategia Constructiva (7.2) resulta más sencilla al realizarse el despiece longitudinal entre mamparos estancos. No obstante, el número total de subbloques y bloques no sufre una gran alteración ya que el despiece del caso 1 ya se realizó procurando que los bloques y subbloques fueran del mayor tamaño posible. A pesar de que la fase de diseño del compartimentado sí que considera el proceso constructivo, su diseño no se puede adaptar por completo a las especificaciones del astillero ya que se ve afectado por una serie de restricciones que han sido fijadas en fases previas del diseño, como por ejemplo dimensiones principales o la división del buque en Zonas Verticales. Esto provoca que pese a reducirse el número de productos de nivel 3 (unidades abiertas), el compartimentado transversal no pueda realizarse al tamaño de la celda de construcción y siga siendo necesario dividir el buque por la línea de crujía a la hora de llevar a cabo el despiece, significando un notorio aumento del número total de subbloques.

Para llevar a cabo la simulación se considera que los tiempos de las estaciones que no son las de prefabricado de bloques y subbloques no se verán afectados. Es decir, gracias a esta simulación se conocerá el efecto de modificar el compartimentado del buque atendiendo a las características del proceso constructivo sobre el proceso de prefabricación, tanto de subbloques como de bloques y no se verán afectadas las otras etapas del proceso. En realidad, las otras etapas también se verían alteradas al variar el número unidades abiertas y simplificar las tareas de soldadura, pero dicho análisis se excluye del alcance de este trabajo.

Tabla 23: Características Simulación 2. Elaboración propia.

N.º Bloques	27
Peso Medio Bloque	198 t
Desviación Peso Bloque	102 t
N.º Subbloques	100
Peso medio Subbloque	49 t
Desviación Peso Subbloque	24 t
HMO medio Subbloque	78 h
HMO total Prefabricado Bloques	7764 h
N.º Unidades Abiertas	456
Peso medio Unidades Abiertas	10 t
HMO medio Unidad Abierta	59 h
HMO total Prefabricado Subbloques	24856 h

Si se compara la tabla superior con la Tabla 22 se comprueba que, pese a que el número de bloques se mantiene, el de subbloques se reduce solo por 2 y que los pesos medios de los productos intermedios son muy similares, el número de horas de mano de obra requeridas para llevar las operaciones de ensamblaje de subbloques y bloques se reduce. Esto es debido a que se redujo el número de mamparos trasversales y al hacer el despiece por mamparos estanco se reduce notoriamente el número de unidades abiertas y por consiguiente el ensamblaje de los subbloques. La simulación nos permite comprobar si realmente esta reducción de la mano de obra supone una disminución del tiempo de entrega total. Los resultados que nos ofrece el programa tras ejecutar la simulación se muestran a continuación:

- Tiempo total proceso:

$$T_{totalC1} = 2384,59 h$$

$$T_{totalC1} = 7.45 meses$$

- Ocupación operarios:

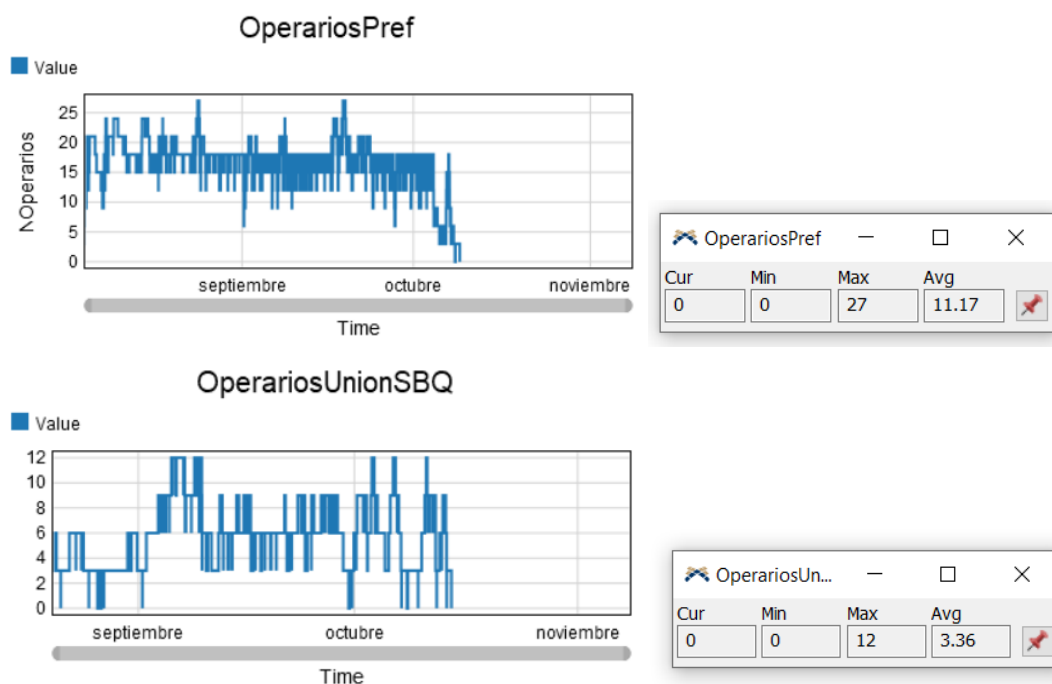
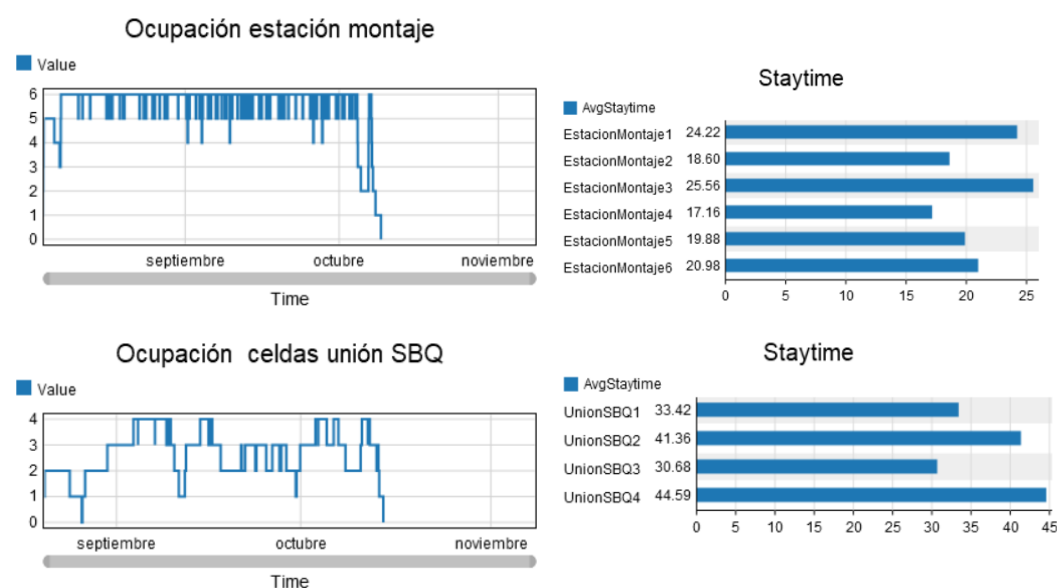


Figura 53: Resultados ocupación operarios prefabricación Simulación 2. FlexSim.

Como se puede comprobar, el tiempo total de construcción del buque se reduce en 154,65 h que equivale a 9,6 días. Por tanto, pese a que las horas de mano de obra totales de prefabricado se reducen en un 11% equivalente a 3768 horas, el tiempo total de producción solo se reduce un 6%. Esto es debido a que en la simulación solo se ven alteradas las operaciones de prefabricado y que se pueden llevar a cabo más de una operación simultánea al permitir que varias unidades abiertas se monten en paralelo. El efecto más notorio de la modificación de la Estrategia Constructiva, llevada a cabo para el Caso de Estudio 2 sobre la ocupación de operarios, se produce en el número máximo de operarios que están operativos en las estaciones de montaje que se reduce de 33 a 26 pese a que el número medio permanece constante. Esto significa que la carga de trabajo en las estaciones de montaje para este caso es más constante, aunque sigue presentando una gran variabilidad en las celdas de UnionSBQ.

- Ocupación celdas:



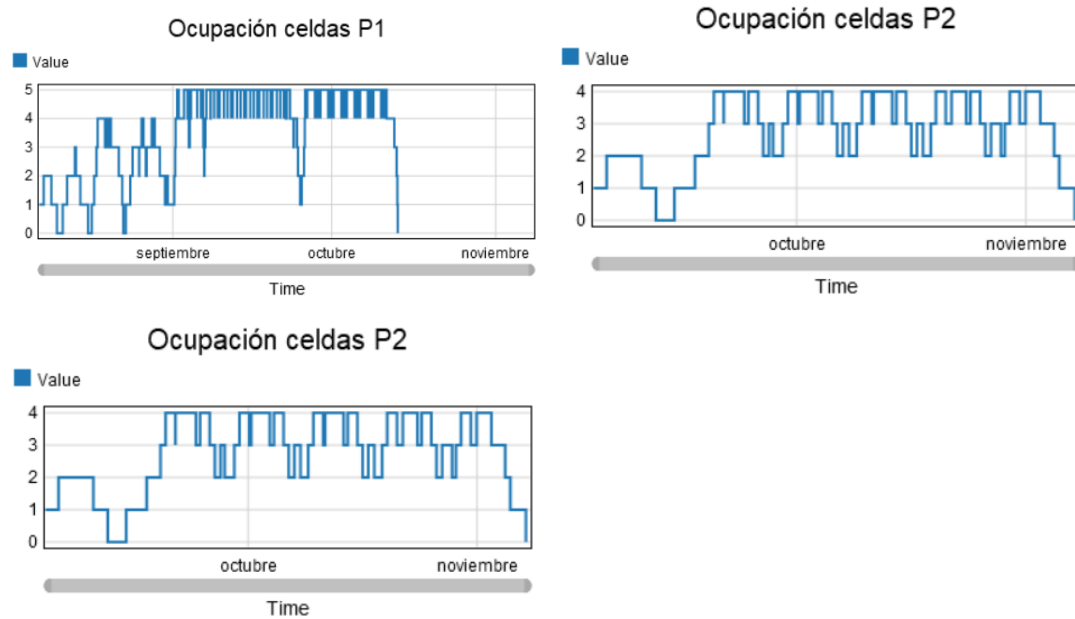
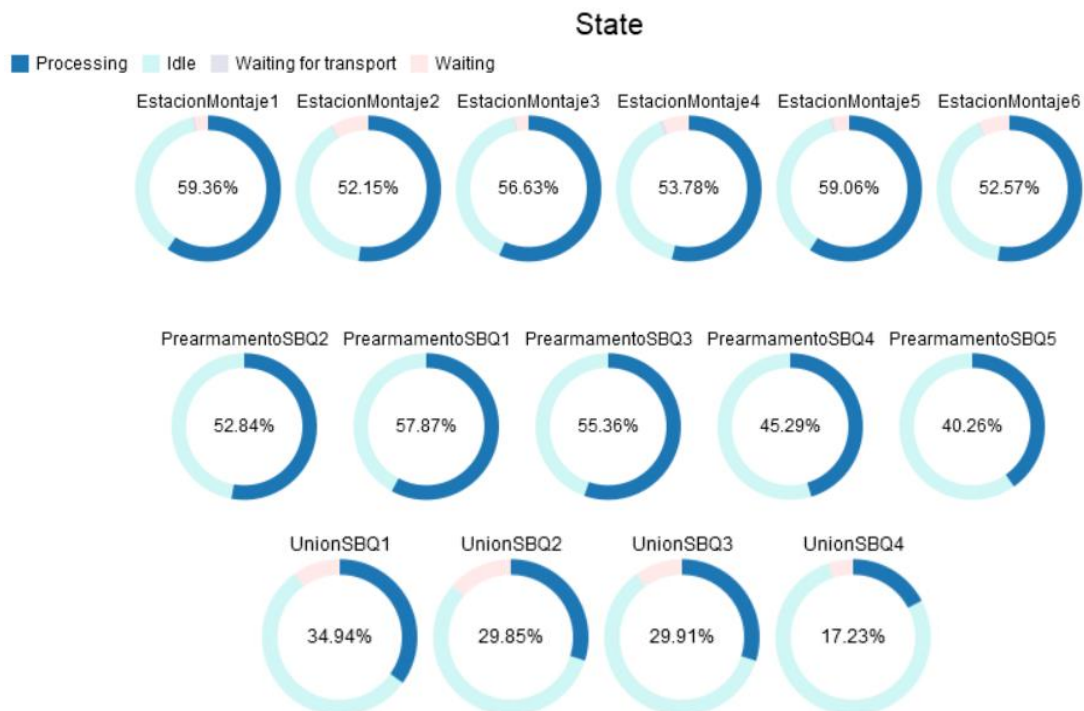


Figura 54: Resultados ocupación celdas Simulación 2. FlexSim.

En la ocupación de las celdas también se aprecian diferencias con el primer caso. Puede comprobarse que se ha equilibrado un poco la carga de trabajo y que se reducen el tiempo medio que están los subbloques y bloques en las estaciones para ser montados. En especial se aprecia una gran disminución en los tiempos medios de montaje de los bloques (UnionSBQ).

- Estado celdas:



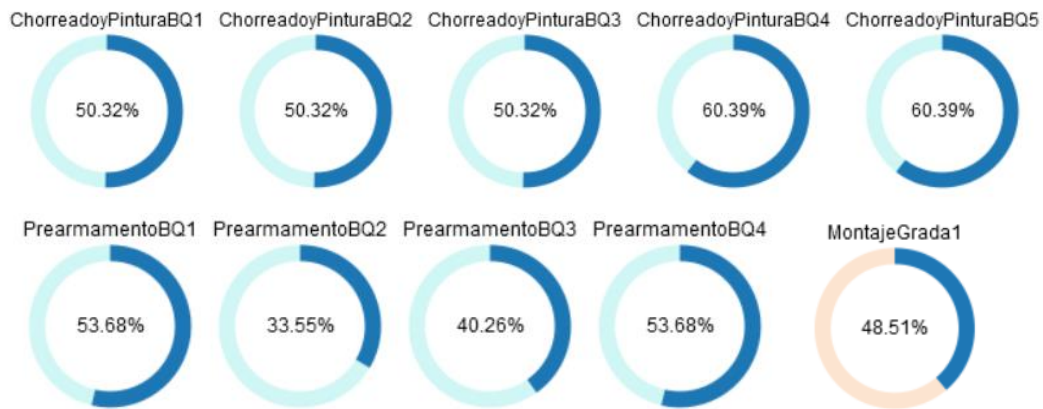


Figura 55: Resultados estados celdas Simulación 2. FlexSim.

Los resultados obtenidos para los estados de las celdas son muy similares para los dos casos. Las cabinas con una tasa de ocupación mayor son las cabinas de pintura y, por otro lado, la tasa de ocupación menor la tienen las celdas de unión de subbloques que disminuye con respecto al primer caso estudiado, pero también disminuye el porcentaje de tiempo que están esperando por subbloques de un bloque. Las tasas de ocupación son tan bajas porque los primeros subbloques en fabricarse corresponden al doble fondo que son lo que requieren una mayor longitud de soldadura y por consiguiente las estaciones posteriores a la estación de montaje se encuentran esperando a recibir los primeros componentes. Por otra parte, una vez las estaciones de montaje finalizan de ensamblar los últimos subbloques de superestructura, que tienen un tiempo de procesamiento menor, tienen que esperar a que los subbloques finalicen el resto de etapas que tienen un tiempo fijo.

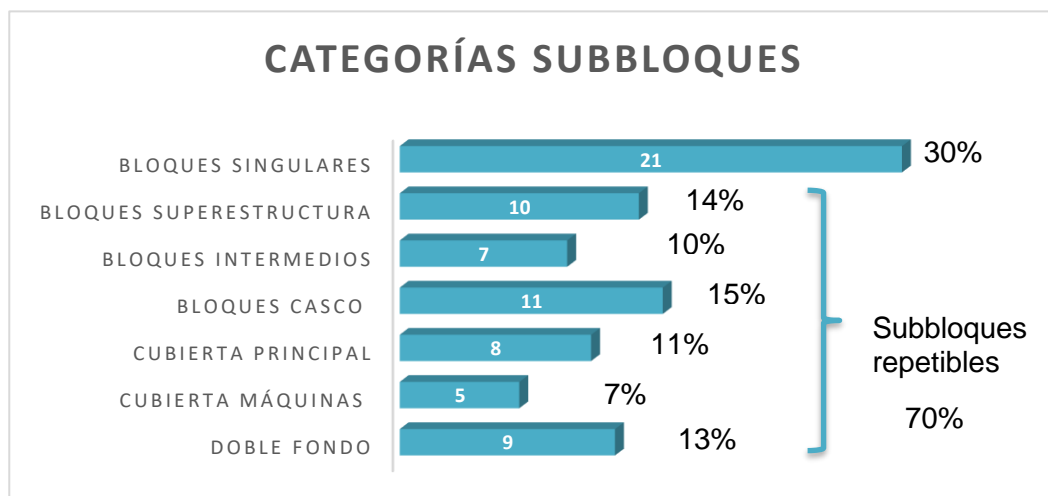
9.4 Simulación Caso de Estudio 3

En este escenario el proceso constructivo del buque se considera desde las primeras etapas del diseño. El segundo caso de estudio proponía incluir en el diseño del compartimentado las características del proceso constructivo, sin embargo, se comprobó que en fases tan avanzadas del diseño resultaba difícil ajustar el diseño al tamaño de celda y a la capacidad máxima del astillero. Por tanto, el tercer caso de estudio tiene como objetivo conocer cómo se desarrolla el proceso constructivo si se tienen en cuenta sus características desde las etapas iniciales del diseño del buque.

En el apartado 7.3, se encuentra definida la Estrategia Constructiva, así como la normativa y factores a tener en cuenta para poder desarrollar esta nueva alternativa de diseño. Esta alternativa plantea modificar las dimensiones principales del buque para que, a diferencia de lo que ocurría en los otros dos casos, no sea necesario hacer un despiece a través de la línea de crujía. Con esta modificación también se consigue aumentar el tamaño medio de los subbloques y bloques, que es uno de los principales criterios a la hora de llevar a cabo el despiece del buque. La reducción de manga implica el aumento de la eslora para mantener la superficie útil del barco y garantizar así que cumple los servicios para los cuales ha sido diseñado. Además, la separación entre mamparos estancos también se ajusta al tamaño de la celda para ajustar el tamaño de los subbloques al tamaño de celda de construcción (20 metros de manga y 15 de eslora)

El despiece resultante destaca por un número de productos intermedios significativamente menor (Tabla 24: Características Simulación 3. Elaboración propia. Tabla 24) y una distribución muy uniforme, lo que facilita la fabricación de productos repetitivos que pueden ayudar a acelerar el proceso constructivo. A esta técnica se le conoce como tecnología de grupos y se distinguen 6 familias de bloques repetibles además de los bloques singulares: bloques de doble fondo, bloques de cubierta de máquinas, bloques de cubierta principal, bloques de casco, bloques intermedios y bloques de superestructura. Esta división

no era posible contemplarla en los otros casos por la diversidad de las características de los subbloques.



Gráfica 1: Categorías subbloques Caso 3. Elaboración propia.

En esta simulación solo se considerarán las modificaciones de la Estrategia Constructiva sobre las estaciones de prefabricado, lo que significa que las otras estaciones (prearmamento, elaboración y pintura) seguirán teniendo la misma duración. Con esto se conocerá los efectos de ajustar las dimensiones y el compartimentado del buque para reducir el número de subbloques y bloques.

Tabla 24: Características Simulación 3. Elaboración propia.

N.º Bloques	21
Peso Medio Bloque	277 t
Desviación Peso Bloque	93 t
N.º Subbloques	100
Peso medio Subbloque	72 t
Desviación Peso Subbloque	15 t
HMO medio Subbloque	108 h
HMO total Unión Bloques	7698 h
N.º Unidades Abiertas	398
Peso medio Unidades Abiertas	11 t
HMO medio Unidad Abierta	73 h
HMO total Prefabricado Subbloques	29006 h

Como se puede comprobar, este caso de estudio requiere un número de horas mano de obra mayor en comparación con los casos vistos previamente. Esto es debido al aumento de la eslora que conduce a un incremento de los refuerzos transversales. El aumento de cordón de soldadura como respuesta al aumento de la eslora es mayor a la reducción que sufre por la disminución de la manga, lo que conlleva el incremento del número total de horas de mano de obra, pese a que el número de bloques y subbloques resulta menor. La simulación nos permite comparar que criterio tiene más peso sobre el proceso constructivo y cuáles son los resultados para este planteamiento. Resultados:

- Tiempo total proceso

$$T_{totalC1} = 2201,87 h$$

$$T_{totalC1} = 6,88 \text{ meses}$$

La simulación revela que, pese al aumento total de horas de mano de obra, este desarrollo del proceso es el que nos lanza un tiempo total de construcción menor. Con este planteamiento se consigue reducir el proceso total en 337 horas equivalentes a más de cuatro semanas en comparación con el caso 1 y en 182.72 h (2 semanas) en comparación con la segunda simulación. Estos resultados se obtienen sin tener en consideración las mejoras por aplicar tecnología de grupos en el resto de etapas del proceso de fabricación.

- Ocupación operarios:

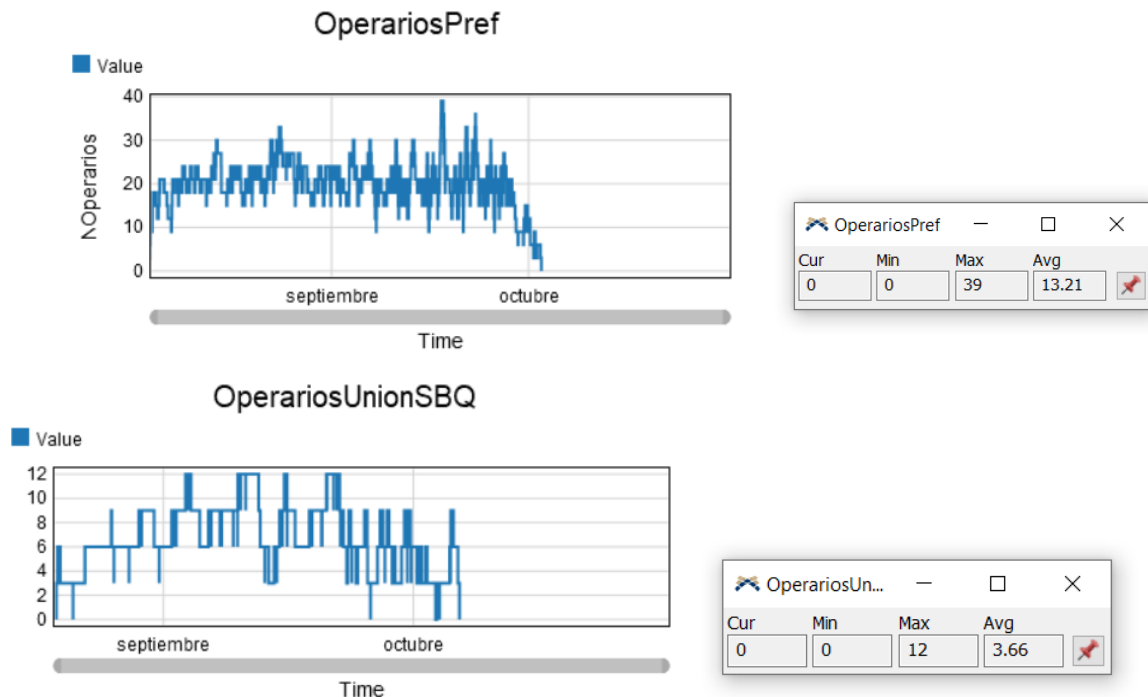
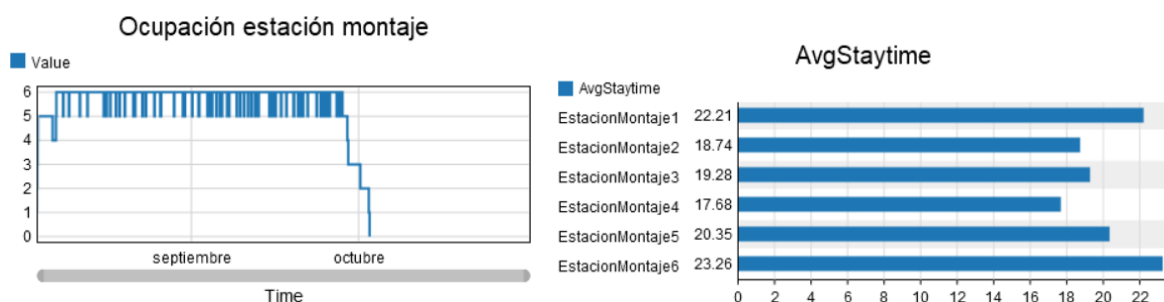


Figura 56: Resultados ocupación operarios prefabricación Simulación 3. FlexSim.

El número máximo de operarios trabajando en las estaciones de montaje aumentan nuevamente a un valor de 39, esta cifra es la máxima obtenida en los 3 casos de estudio. Este resultado va en concordancia con lo obtenido en el análisis de datos de la Tabla 24, ya que el número medio de unidades abiertas que hay que montar por subbloque es mayor que en los otros casos (6 unidades abiertas por subbloque de media, alcanzando un máximo de 12 unidades abiertas para el subbloque 48). El número de OperariosPref es mayor porque se llevan a cabo más horas de trabajo en un periodo más reducido. Por el contrario, el número de trabajadores en las celdas de UnionSBQ se mantiene constante en los 3 casos porque no se realizan operaciones en paralelo.

- Ocupación celdas:



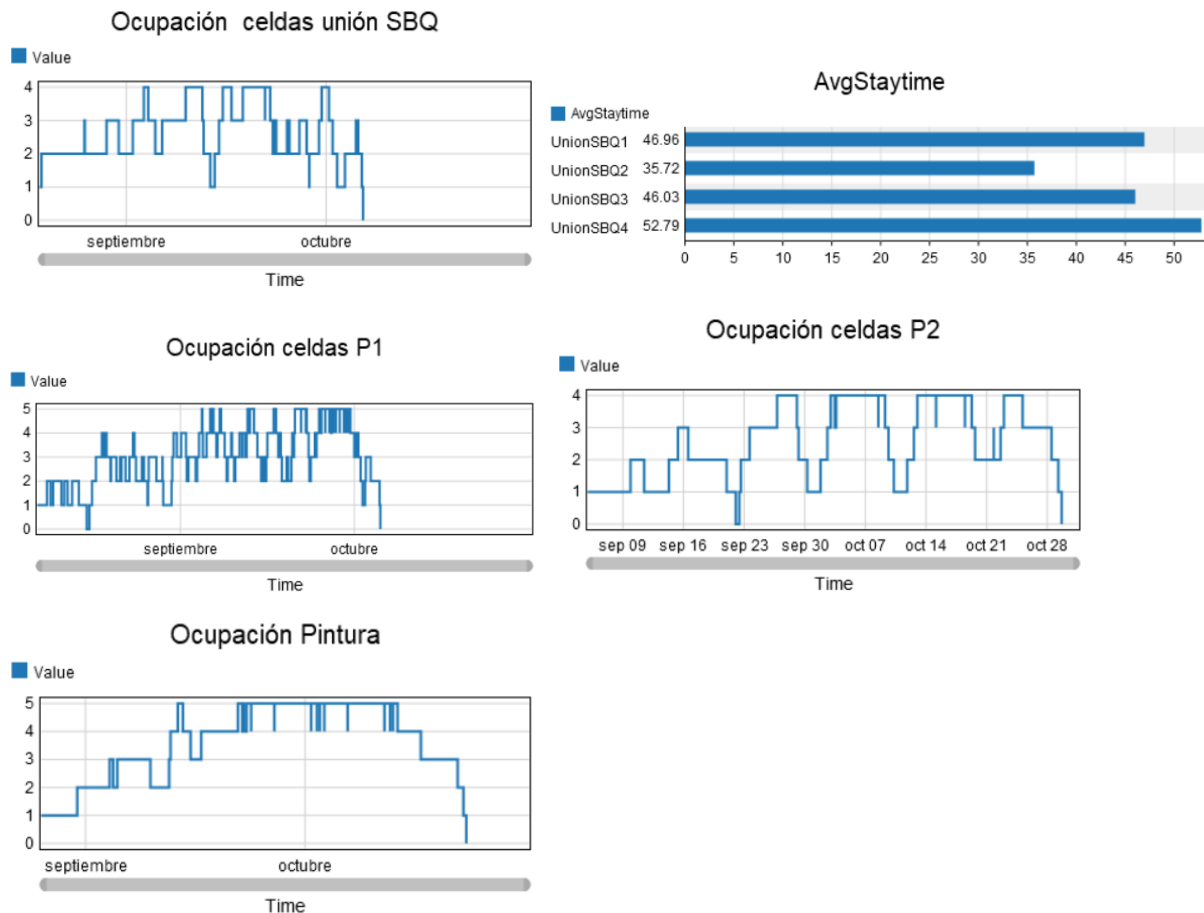


Figura 57: Resultados ocupación celdas Simulación 3. FlexSim.

Si se comparan los resultados obtenidos con la simulación 1 se obtiene que la ocupación de las estaciones de montaje es mayor pese a que el tiempo medio que permanece cada subbloque en cada una de las estaciones es bastante similar. Esto puede ser debido a que el tamaño de los subbloques es más constante y se emplea un mayor número de operarios, obteniendo unos resultados más similares a la simulación 2. En el tiempo medio que permanece cada bloque en la celda UnionSBQ aumenta, lo cual cobra sentido ya que los tamaños de los bloques son mayores y se ocupa el mismo número de operarios, sin embargo, se consiguen unos resultados más equilibrados, similares al del caso 2 aunque con tiempos más elevados. La ocupación de las cabinas de pintura es similar en los tres casos. La ocupación de las celdas de prearmamento es menor debido a que el número de productos intermedios obtenidos es menor por lo cual no hay un flujo tan constante de productos intermedios.

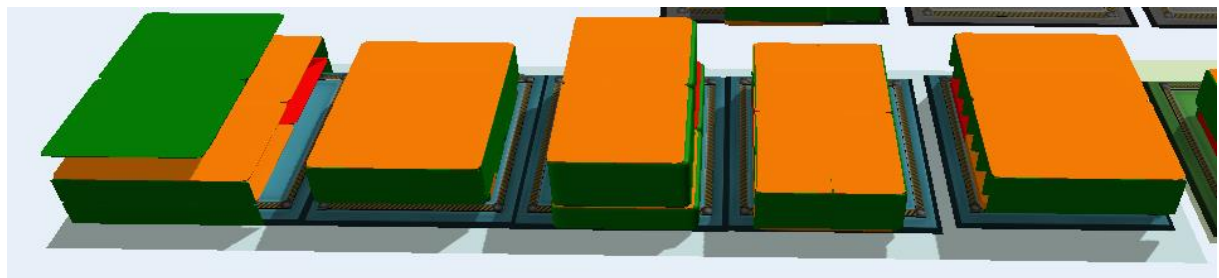


Figura 58: Simulación Cabinas de pintura. Elaboración propia.

- Estado celdas:

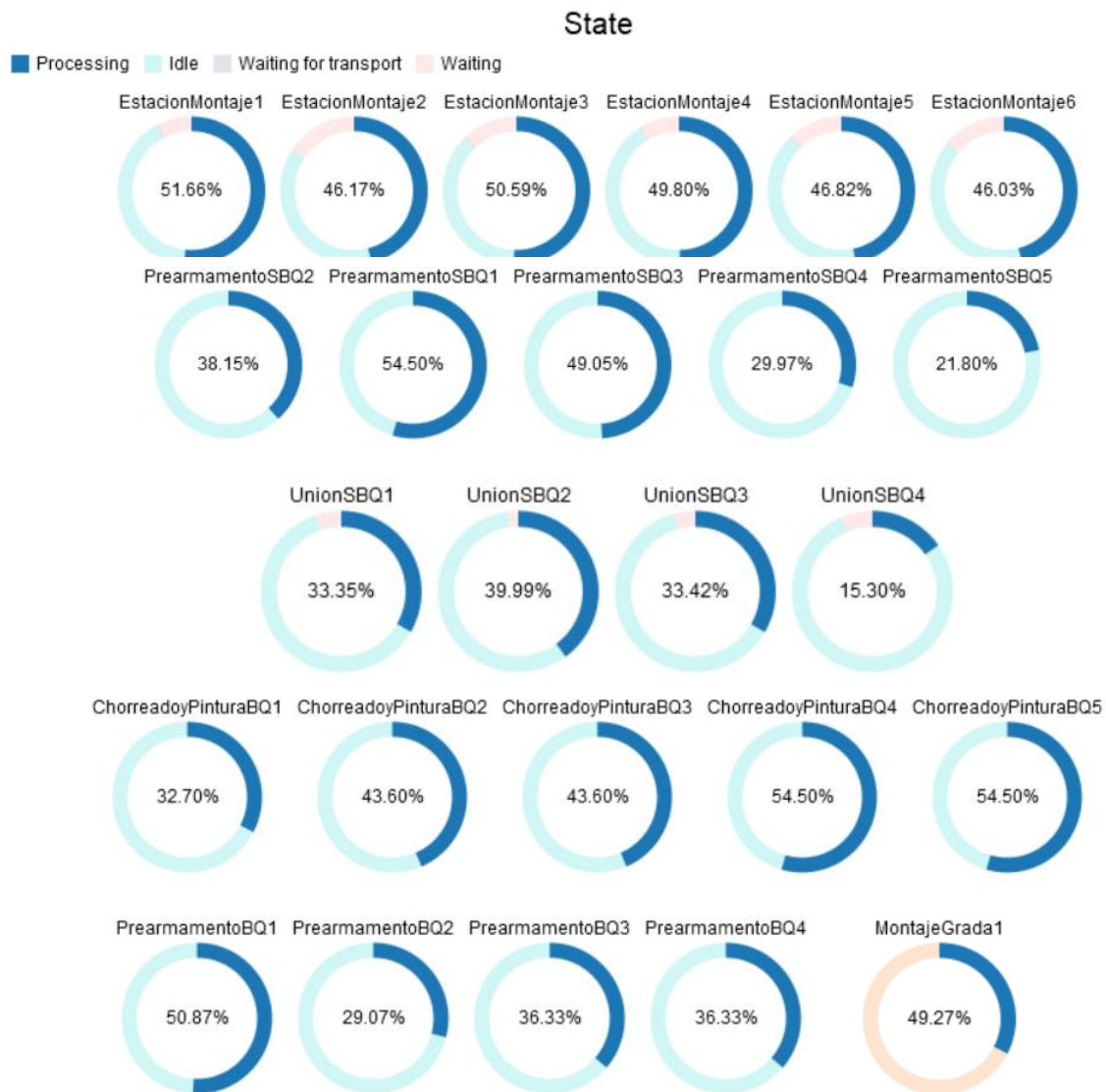


Figura 59: Resultados estados celdas Simulación 3. FlexSim.

Tras el estudio de los gráficos de ocupación, se observa que el porcentaje de tiempo que las celdas pasan desocupadas es mayor. Esto se debe al despiece del buque en menos productos intermedios de mayor tamaño. En este caso destaca el aumento del tiempo de espera en las estaciones de montaje como consecuencia del aumento de unidades abiertas por subbloque.

10 CONCLUSIONES

Las simulaciones llevadas a cabo nos permiten verificar que el modelo es capaz de simular el proceso de fabricación de un buque de pasaje y de ofrecer diferentes resultados en función de la Estrategia Constructiva. Los resultados obtenidos demuestran que es posible ejecutar la construcción del buque en el plazo máximo establecido y que el tiempo de entrega final depende en gran medida del diseño del buque llevado a cabo y de la definición de la Estrategia Constructiva.

Los resultados de la simulación nos permiten alcanzar las siguientes conclusiones:

- El tiempo total de construcción del buque disminuye al considerar las características del diseño constructivo en las fases tempranas del diseño. Los resultados obtenidos para el escenario 2 y el 3 demuestran que cuanto antes se tengan en cuenta las características del proceso en el diseño del crucero, más se reduce el tiempo de fabricación total.
- Los casos de estudio planteados verifican el criterio de que el proceso de fabricación se acelera al aumentar el tamaño de los bloques y subbloques. Para poder obtener subbloques y bloques ajustados a las capacidades máximas del astillero es necesario considerar estos parámetros en el diseño del buque ya que el desarrollo de la Estrategia Constructiva se ve limitado por las características del diseño.
- Tamaños de subbloques y bloques irregulares causan desequilibrios en la carga de trabajo de las estaciones de prefabricado.
- El tercer caso de estudio demuestra que el aumento de la eslora en el diseño del buque supone un notable aumento del cordón de soldadura y, por tanto, de las horas de mano de obras requeridas. El aumento de la eslora tiene un efecto mayor que la reducción de la manga.
- El tercer caso, en comparación con los dos primeros, adelanta trabajos de soldadura a la estación de prefabricado de subbloques donde se pueden ejecutar operaciones en paralelo, lo que aporta rapidez al proceso constructivo.
- La Estrategia Constructiva puede resultar más o menos compleja en función del diseño. Por ejemplo, un mayor número de mamparos estancos transversales o de troncos de escaleras dificultan el despiece del buque en bloques.

La consideración de las características del proceso en el diseño no solo reducen el tiempo total de construcción, sino que también facilitan las operaciones llevadas a cabo en el astillero: simplificación de la logística al disponer de un mayor número de componentes estandarizados, se simplifican las operaciones de soldadura al dividir el buque por las zonas más convenientes para ello, simplificación de tareas de preparación de las camas de montaje debido al grado de repetitividad de los subbloques, se facilita y se adelanta la detección de errores siendo más fácil y menos costos corregirlos en fases tempranas del proceso, etc. Además, la simulación también nos proporciona información útil sobre la ocupación de las celdas y operarios que puede resultar interesante al astillero para identificar que recursos se podrían variar en función de la Estrategia Constructiva y así conseguir una mayor productividad del proceso.

Tras este estudio queda comprobadas las ventajas de tener en cuenta la definición de los bloques y el proceso de construcción del buque en fases tempranas del diseño y que mejoras ofrece. Por tanto, el astillero debe ser capaz de tener estas características en cuenta en el desarrollo del diseño del buque para lograr alcanzar una solución de compromiso entre el proceso constructivo, el proceso de diseño y el propósito que debe cumplir el buque.

En futuros trabajos, podría elaborarse un modelo más detallado que incluyese los efectos de la modificación de la Estrategia Constructiva sobre las otras fases del proceso (prearmamento y elaboración) para obtener una mayor precisión en la estimación de tiempos.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Alto University. (2015). *MyCourses*. Obtenido de Shipyard Engineering: <https://mycourses.aalto.fi/mod/folder/view.php?id=44360>
- Asociación de Centros Tecnológicos de Galicia. (2018). *Oportunidades Industria 4.0 en Galicia*. Obtenido de <http://www.igape.es/es/ser-mas-competitivo/galiciaindustria4-0/estudios-e-informes/item/1529-oportunidades-industria-4-0-en-galicia>
- Banks, J., Carson II, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete- Event System Simulation*. Pearson. Obtenido de [http://ce.sharif.edu/courses/95-96/2/ce634-1/resources/root/Books/Discrete%20Event%20System%20Simulation%20\(Fifth%20Edition\)%20.pdf](http://ce.sharif.edu/courses/95-96/2/ce634-1/resources/root/Books/Discrete%20Event%20System%20Simulation%20(Fifth%20Edition)%20.pdf)
- Basco, A. I., Garnero, P., Beliz, G., & Coatz, D. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*. Inter-American Development Bank. Obtenido de <https://play.google.com/books/reader?id=geiGDwAAQBAJ&hl=es&pg=GBS.PA28>
- Caprace, J. D., Trevisani Da Silva, C., Rigo, P., & Martins Pires, F. C. (2011). Discrete Event Production Simulation and Optimisation of Ship Block. *COMPIT'11 -- 10th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries*, (págs. 271-282). Berlin, Germany.
- Castilla Hernández, I. J. (2019). Estructuración de una metodología para el desarrollo de la estrategia constructiva para buques integrada desde el diseño. *DERROTERO, Revista de la Ciencia y la Investigación.*, 13(1). Obtenido de <http://revistas.escuelanaval.edu.co/index.php/DERROTERO/article/view/192>
- Chung, C. A. (2003). *Simulation Modeling Handbook: A practical Approach*. Boca Raton, FL.: CRC Press. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=JhV6Ry6UMDQC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Simulation+Modeling+Handbook:+A+practical+Approach>
- Crespo Pereira, D. (2013). Modelos de series temporales para simulación de procesos industriales : aplicación al dimensionamiento y control de sistemas altamente variables. *Tesis (Doctoral)*. Universidade da Coruña. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2183/11511>
- Crespo Seijo, A., Merino Rego, C., & Cabanas, J. (2006). La construcción integrada: Una herramienta eficaz en la colaboración entre astilleros. *Ingeniería Naval, ISSN 0020-1073*(834), 93-102. Obtenido de <https://sectormarítimo.es/wp-content/uploads/2016/02/200602.pdf>
- Criado García-Legaz, A., & Merino Rego, C. (2018). Una visión del Astillero 4.0 de Navantia. *Revista general de marina*, 275(2), 249.281. Obtenido de <https://armada.defensa.gob.es/archivo/rgm/2018/08/rgm080918.pdf>
- del Val Román, J. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. *Conferencia de Directores y Decanos de Ingeniería Informática CODDii*. Facultad de Ingeniería de la Universidad de Deusto. Obtenido de <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
- Fernández Rodríguez, Á. (2015). Investigación y análisis de procesos de fabricación y ensamblaje en astilleros dedicados a la construcción de buques tecnológicamente complejos mediante la aplicación de las técnicas de fabricación LEAN. *Tesis (Doctoral)*. Universidade da Coruña. Obtenido de <http://hdl.handle.net/2183/15984>

- FlexSim Software Products, I. (s.f.). Obtenido de <https://www.flexsim.com/es/flexsim/>
- Fraga Lamas, P., Fernández Caramés, T. M., Suárez Albela, M., & Vilar Montesinos, M. (2018). A Fog Computing and Cloudlet Based Augmented Reality System for the Industry 4.0 Shipyard. *Sensor*, 18(6), 1798. doi:10.3390/s18061798
- González De Lema Martínez , F. (2007). *Tecnología de la Construcción del buque*. Universidade da Coruña.
- Hock Ang, J., Goh, C., & Li, Y. (2016). Smart Design for Ships in a Smart Product Through-Life and Industry 4.0 Environment Joo. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE WCCI '16)*. Vancouver. doi:10.1109/CEC.2016.7748364
- Kamarul Bahrin, M., Othman, F., Nor Azli, N., & Farihin Talib, M. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*(78), 6-13. doi:10.11113/jt.v78.9285
- Kim, H., Lee, S. S., Park, J., & Lee, J. G. (2005). A model for a simulation-based shipbuilding system in a shipyard manufacturing process. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 18(6), 427-441. doi:10.1080/09511920500064789
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld , T., & Hoffmann , M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6, 239–242. doi:10.1007/s12599-014-0334-4
- Ljubenkov, B., Dukic, G., & Kuzmanic, M. (2008). Simulation methods in shipbuilding process design. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 54(2), 131-139. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Goran_Dukic/publication/292031320_Simulation_methods_in_shipbuilding_process_design/links/56fd9d9f08ae650a64f550e4.pdf
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. doi:10.1016/j.jii.2017.04.005
- McLean, C., & Shao, G. (2001). Simulation of shipbuilding operations. *Proceeding of the 2001 Winter Simulation Conference (Cat. No.01CH37304)*, 2, págs. 870-876. Arlington, VA, USA. doi:DOI: 10.1109/WSC.2001.977386
- Moreno Nieto, D., Casal López, V., & Ignacio Molina, S. (2018). Large-format polymeric pellet-based additive manufacturing for the naval. *Additive Manufacturing*, 23, 78-95. doi:10.1016/j.addma.2018.07.012
- Mourtzis, D. (2020). Simulation in the design and operation of manufacturing systems: state of the art and new trend. *International Journal of Production Research*, 58(7), 1927-1949. doi:10.1080/00207543.2019.1636321
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in Manufacturing: Review and Challenges. *Procedia CIRP*, 25, 213-229. doi:10.1016/j.procir.2014.10.032
- Núñez-Barranco González Elipe, R. (2004). Planteamiento actual de la configuración de un astillero para su adaptación a la construcción de buques de crucero. *Tesis (Doctoral)*. E.T.S.I. Navales (UPM). Obtenido de <http://oa.upm.es/281/>
- Rajkumar , R., Lee, I., Sha, L., & Stankovic, J. (2010). Cyber-Physical Systems: The Next Computing Revolution. *Design Automation Conference*. Anaheim, CA. doi:10.1145/1837274.1837461.
- Recamán Rivas, Á. (2018). Navantia's Shipyard 4.0 model overview. *Scientific and Technological Research Articles*, 11(22), 77-85. doi:10.25043/19098642.165
- Rouco Couzo, M., Morgade Abeal, R., Quiroga Pazos, M., García del Valle, A., Cebral Fernández, M., & Crespo Pereira, D. (2018). El Astillero 4.0: Modelado y Simulación del Astillero de Navantia-Ferrol. *Ingeniería naval*, ISSN 0020-107(966), 74-80. Obtenido de <https://www.gii.udc.es/img/gii/files/El%20Astillero%204.0%20Modelado>

- %20y%20Simulaci%C3%B3n%20del%20Astillero%20de%20Navantia%20Ferrol%20Rev1%202017.09.15%20CONCLUSIONES%20MODIFICA[3566].pdf
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. *Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36274)*, vol.1, págs. 7-14. Washington, DC, USA. doi:10.1109/WSC.1998.744892.
- Stanic, V., Hadjina, M., Fafandjel, N., & Matulja, T. (2018). Toward shipbuilding 4.0: An industry 4.0 changing the face of the shipbuilding industry. *Brodogradnja*, 69(3), 111-118. doi:10.21278/brod69307
- Suaz González, A. (2012). La situación de la construcción naval en España perspectivas en un mercado global. *Economía industrial*, ISSN 0422-2784(386), 49-60. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4155964>
- Thiel Durán , R. (Mayo-Junio de 1996). CONSTRUCCION NAVAL - ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA. *Revista Marina*(832). Obtenido de <https://revistamarina.cl/revistas/1996/3/thiel.pdf>
- Yong Gil Lee, S. J. (2020). Simulation-based planning system for shipbuilding. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*,, 33(6), 626-641. doi:10.1080/0951192X.2020.1775304



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

*DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS*

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo I

**CUADERNO 1: ELECCIÓN DE LA CIFRA DE MÉRITO,
DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LA MÁS
FAVORABLE**



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA	2
2 Introducción	4
3 Base de datos de buques de referencia	7
4 Cálculo de las dimensiones principales del buque base.....	10
5 Selección de la alternativa más favorable	19
5.1 Elección de la Cifra de Merito	19
5.2 Generación de alternativas y selección.....	19
6 Comprobación del francobordo	23
7 Estimación de la potencia	25
8 Peso en rosca	28
9 Disposición general y cuaderna maestra.....	30
10 Bibliografía.....	33
Anexo I.I: Buque de referencia.....	34
Anexo I.II: Cálculo del Francobordo	36
Anexo I.III: Hoja de cálculo.....	40

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es desarrollar un dimensionamiento preliminar del buque crucero descrito en los Requisitos Previos de Actividad (RPA).

Los buques cruceros son embarcaciones destinadas al transporte de pasajeros que se caracterizan por ofrecer al pasaje todas las comodidades necesarias para que puedan disfrutar de su estadía a bordo. Para ello, las compañías navieras dotan a sus barcos de cómodos camarotes, así como zonas de ocio para que sus clientes encuentren a bordo todo aquello que puedan necesitar durante el desarrollo de sus vacaciones como por ejemplo tiendas, bares o zonas de baño. Además, ofrecen diferentes rutas para sumar a la experiencia la visita de ciudades o lugares de interés turístico. Es decir, la imagen más similar a un buque crucero es un hotel o resort capaz de flotar y propulsarse en el agua siguiendo un itinerario programado, en el que cobra más importancia el viaje que el destino en sí.

El sector de los cruceros es un sector en auge que no ha parado de crecer en los últimos años por lo que las empresas navieras han decidido invertir y mejorar en sus servicios lo que tiene una repercusión directa en el sector naval que ha tenido que evolucionar y adaptarse para hacer frente a la nueva demanda. En la siguiente gráfica se puede observar la evolución del sector del turismo de cruceros en los últimos 10 años, lo cual es una gran representación visual del crecimiento que está experimentando el sector. Además, nos permite percatarnos de la gran influencia económica que supone. Por ejemplo, en el año 2018 se produjo el traslado de 28,5 millones de pasajeros, dando trabajo a más de un millón de personas y generando un total de 134 millones de dólares (113.000.000€) a nivel mundial.

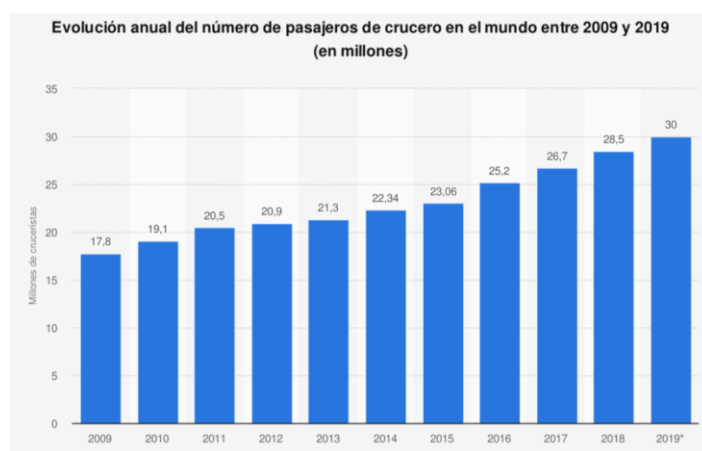


Figura 1: Evolución del número de pasajeros.

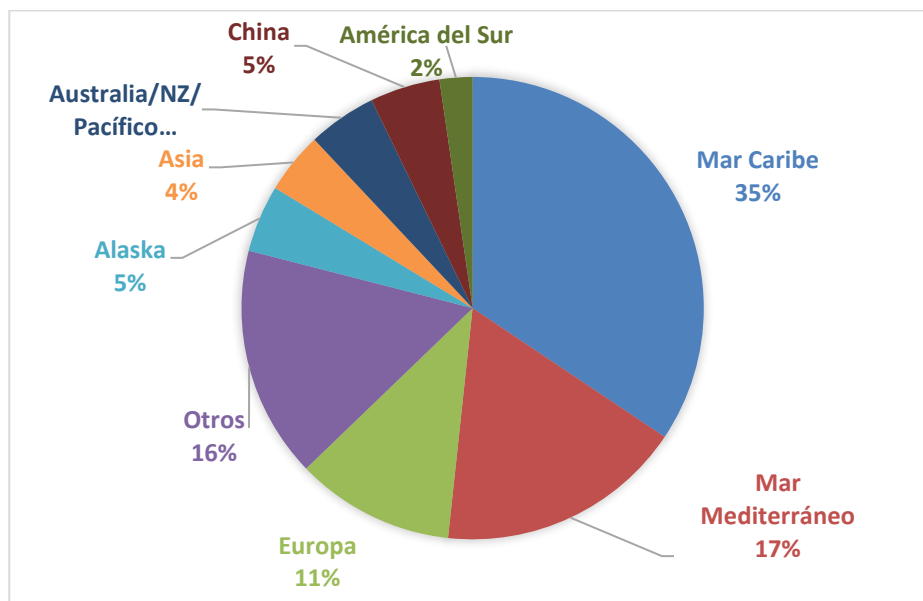
El principal parámetro que definirá el diseño del buque es el número de pasajeros que ha de transportar; en nuestro caso este valor se ha establecido en 360 pasajeros. Por tanto, se tratará de un buque crucero de pequeña envergadura dado que actualmente los barcos de esta categoría suelen estar enfocados a transportar a un número elevado de personas, existiendo cruceros con una capacidad de carga superior a los 6.000 pasajeros. A diferencia de los buques de pasaje de mayor porte, el crucero que se desarrollará a lo largo de este proyecto busca ofrecer a los clientes mayor comodidad y tranquilidad, huyendo de la tendencia actual de cruceros masificados.

En la RPA se indica que los pasajeros deben ir alojados en camarotes dobles y que cada camarote debe disponer de un baño privado. Por tanto, se dispondrán de 180 camarotes que irán repartidos en las diferentes cubiertas del buque. Se deberá tener en cuenta que al menos el 80% de los alojamientos deben de ser exteriores y aquellos que sean exteriores ubicados en cubiertas superiores irán dotados de balcón. Al mismo tiempo se dispondrá de zonas comunes de restauración y entretenimiento como restaurante, piscina, sala de estar, gimnasio y bar. Para atender todos servicios, el crucero contará con 90 tripulantes.

Como se puede apreciar la proporción de pasajeros por tripulante es 4/1, por lo que el buque proyecto no entra dentro de la categoría de buque de lujo dado que en este tipo de cruceros la proporción suele encontrarse entre 1 y 2 pasajeros por tripulante. Este hecho hay que considerarlo durante el diseño del buque dado que repercutirá en los servicios que puede ofrecer crucero. Por ejemplo, en vez de contar con un restaurante en el que el servicio se realice en mesa, contará con un restaurante tipo buffet que requiere menos personal.

Otro factor de vital importancia a la hora de llevar a cabo el anteproyecto del buque es conocer por qué áreas está previsto que navegue. Como no es un requisito presente en la RPA, no se proyectará el buque crucero para navegar en zonas de hielo (zonas árticas y antárticas) y se asumirá la siguiente ruta: durante su tiempo de actividad se diferenciarán dos grandes zonas por la que el buque estará navegando, dependiendo de la fecha del año en la que nos encontremos. Es decir, el crucero estará destinado a realizar diferentes rutas en función de la temporada estival. La primera de ellas será la temporada europea que se llevará a cabo entre los meses de mayo y septiembre por el mar Mediterráneo y una segunda temporada, que comenzará tras un viaje Transatlántico en el mes de octubre, por el mar Caribe. Esta decisión se ha tomado en función de los destinos más solicitados por los pasajeros en los últimos años como se puede apreciar en la siguiente gráfica, así como siguiendo el itinerario del buque de referencia.

Gráfica 1: Despliegue buques de pasaje



Es un requisito del proyecto que la propulsión sea diésel eléctrica. Este tipo de propulsión cuenta con la ventaja de que ayuda a reducir las emisiones y el consumo de combustible lo cual cobra una gran importancia en un contexto de creciente preocupación por el medioambiente. Además, el accionamiento diésel-eléctrico ocupa menos espacio que el motor de dos tiempos de accionamiento directo equivalente, lo que permite que la sección de popa sea más delgada, proporciona un mejor flujo sobre la hélice, permite una distribución de pesos más uniforme y ofrece una gran flexibilidad.

El buque se diseñará para una velocidad de servicio de 16 nudos y el sistema de propulsión estará constituido por dos hélices azimutales situadas a popa. Las hélices azimutales se caracterizan por la capacidad de orientar su impulso girando alrededor de un eje vertical, pudiendo hacer el giro completo (360°). Este tipo de propulsores ofrecen una gran maniobrabilidad, que resulta muy ventajoso para los buques que tienen que hacer muchas maniobras a puerto, como es el caso de buques crucero. La autonomía se establece en 6000 millas.

El buque contará con todos los equipos y servicios propios de este tipos de buques: amarre y fondeo, sistema de gobierno y maniobra, generados de emergencia, planta de tratamiento de aguas residuales, generador de agua dulce, sistema de lastre y achique, sistema contraincendios y equipos de salvamento entre otros.

3 BASE DE DATOS DE BUQUES DE REFERENCIA

Para poder realizar un primer dimensionamiento del buque nos basaremos en buques previos ya existentes con características similares al que se quiere dimensionar. Para ello, ha sido necesaria la elaboración de una base de datos en la cual figuren los barcos que hemos podido encontrar con las características que nos interesan.

Las características que hemos buscado en los buques que conforman la base de datos han sido: que estén destinados al transporte de pasajeros (cruceros), que sean posteriores al año 2010 y que su capacidad de carga sea próxima a la que figura en la RPA, 360 pasajeros. Por tanto, se han añadido en la base de datos buques con una capacidad entre 140 y 640 pasajeros. Este amplio rango se debe a la dificultad de encontrar buques crucero de estas características y poder disponer de datos suficientes, tanto inferiores como superiores, para poder llevar a cabo el dimensionamiento.

Los recursos empleados para la realización de dicha base de datos han sido las publicaciones anuales de la revista Significant Ships, páginas webs de los astilleros y de las compañías de cruceros y el documento Register of Ships 2009/2010 publicado por el Lloyd's Register of Shipping. Sin embargo, al no disponer de mucha información de buques recientes se decidió, con el objetivo de disponer de un mayor número de referencias, buscar buques de mayor antigüedad hasta el 2005 o que sigan en funcionamiento hoy en día y que hayan sufrido renovaciones en los últimos años. A mayores, aunque no se emplearán para futuros cálculos también se incluyen buques con las características buscadas pero cuya construcción es anterior a lo que nos interesa. La documentación empleada se puede encontrar en el Anexo I.

A continuación, se muestra la tabla que recoge los datos y la información obtenida. Los buques empleados para la base de datos son los que figuran en el primer grupo de datos y en la parte inferior figuran aquellos que no se emplearán debido a su antigüedad.

Nombre	Referencia	Año	Pasajeros
LE BOREAL/ L'AUSTRAL/LE LYRIAL/LE SOLEAL	Significant Ships	2010/2011/2012/2013	264
EUROPA 2	Significant Ships	2013	544
ARANUI 5	Significant Ships	2015	295
SEABOURN ENCORE	Significant Ships	2016	635
SEABOURN ODYSSEY/ SEABOURN QUEST	Significant Ships	2009/2011	452
FRAM	Significant Ships	2007	500
SILVERMUSE	Fincantieri Web Page	2017	596
SILVER SPIRIT	Fincantieri Web Page	2009	540
SILVER CLOUD/SILVER WIND	Silverseas Web Page + LR	1994,2017 (Renovación)	296
SILVER WHISPER/ SILVER SHADOW	Silverseas Web Page + LR	2001, 2019 (Renovación)	388
SILVER EXPLORER	Silverseas Web Page	1989, 2018(Renovación)	144
THE RIZT CARLTON YACHT	Barreras Web Page	2019	298
HAVILA POARIS	Barreras Web Page	2020	640
SILENSEAS 190	L'Atlantique Web Page	2018	300
SILENSEAS 210	L'Atlantique Web Page	2018	300
SEA CLOUD 2	GUIDE + LR	2001	94
NIPPON MARU	GUIDE + LR	1989	607
ARION	GUIDE + LR	1965, 2000(Renovación)	312
C.COLUMBUS	GUIDE + LR	1997	423
CLUB MED 2	GUIDE + LR	1996	521
MINERVA	GUIDE + LR	1989	428
SEABOURN LEGEND/SEABOURN PRIDE/SEABOURN SPIRIT	GUIDE + LR	1988/1989/1990	212
SPIRIT OF ADVENTURE/ BERLIN	GUIDE + LR	1980	420
VISTAMAR	GUIDE + LR	1989	350

Nombre	Lt (m)	Lpp (m)	B (m)	D (m)	Td (m)	Tesc (m)	GT (gt)	Despl.	LW	DWd (dwt)	Dwesc	Cb	Vs (nudos)
LE BOREAL	142.1	126.2	18	6.7	4.7	4.9	10944	7435	6079	1400		0.67	16
EUROPA 2	225	205	26.7	12.5	6.3	6.5	42830	23000	19000	40000	50000	0.65	21.6
ARANUI 5	126.08	117	22.2	7.85			11468	10488	6467	4021		0.75	15
SEABOURN ENCORE	210.5	177.1	28	8.8	6.53	6.8	41865			3500			15
SEABOURN ODYSSEY	198.15	169.2	26	9	6.616		31650			3000			19
FRAM	113.7	99.2	20.2	7.2	5.1	5	11700	6800		1000		0.65	16.4
SILVERMUSE	212.8		27		6.55		40700						19.8
SILVER SPIRIT	195.8		26.5		6.4		36000						20.3
SILVER CLOUD	155.81	134.84	21.4	13.2	5.35		17400						17.5
SILVER WHISPER	186	161.8	24.8	8.4	6		28258						18.5
SILVER EXPLORER	107.9		15.8				6072						14
THE RIZT CARLTON YACHT	190	162	23.8	8	5.65					1470			16
HAVILA POARIS	124.1	115.2	22	8.2	4.65					1000			16
SILENSEAS 190	190		24				16000						17
SILENSEAS 210	210		25				23000						17
SEA CLOUD 2	117	81.5	16		5.3		3849						14
NIPPON MARU	166.65	147	24	6.55			21903						18
ARION	116.82	105.01	16.5		5.29		5888						18
C.COLUMBUS	145	125	21.5		5.1		15067						18.5
CLUB MED 2	187	156.36	20				14983						15
MINERVA	133	115.1	20		5.27		12449						16
SEABOURN LEGEND	133.8	112.4	20.5		5								16
SPIRIT OF ADVENTURE	139.3	125.63	17.5		4.98		9570						17
VISTAMAR	117.4	100	16.8		4.55		7478						17

Tabla 1: Base de datos.

4 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES PRINCIPALES DEL BUQUE BASE

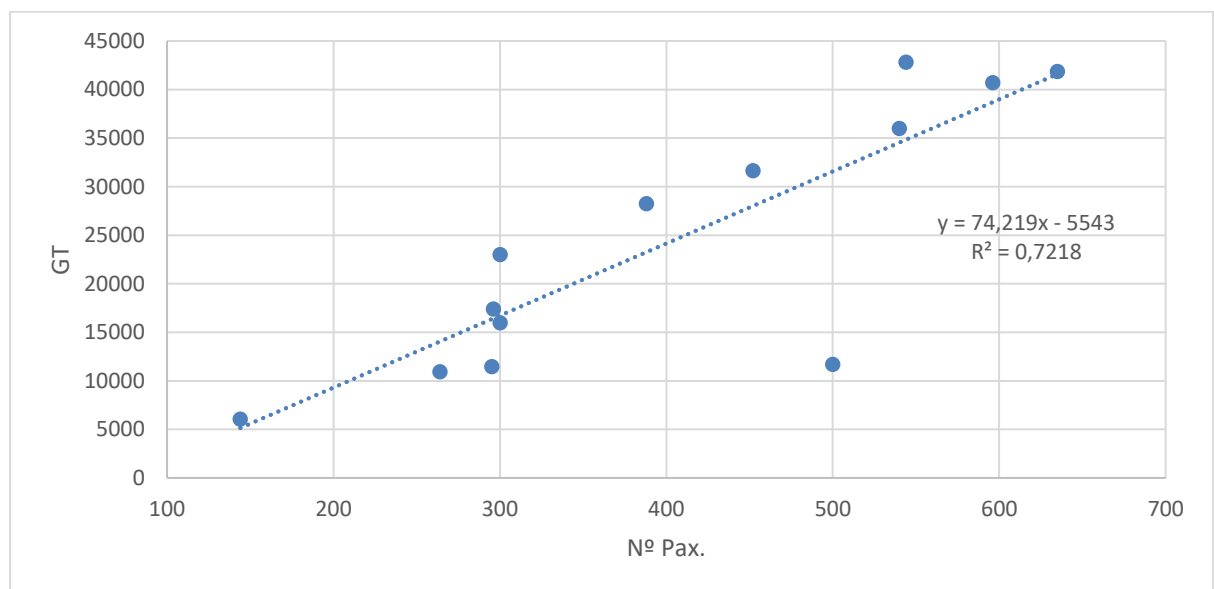
El dimensionamiento inicial se llevará a cabo utilizando la base de datos por medio de regresiones lineales.

Eslora entre perpendiculares (Lpp)

La primera dimensión que nos interesa estimar es la eslora entre perpendiculares del buque. La Lpp se puede determinar a partir de las condiciones iniciales que figuran en la RPA. En buques de pasaje dichas condiciones pueden ser el número de pasajeros o el arqueo bruto. En nuestro caso el dato del que partimos es el número de pasajeros y se puede proceder de dos maneras. La primera de ellas es relacionar el número de pasajeros con el arqueo bruto (GT) y posteriormente este con la Lpp y la segunda consiste en relacionar directamente el número de pasajeros (Nº Pax) con Lpp.

Se muestran a continuación las gráficas con las relaciones obtenidas a partir de la base de datos empleada.

Gráfica 2: Relación Arqueo bruto-Número de Pasajeros



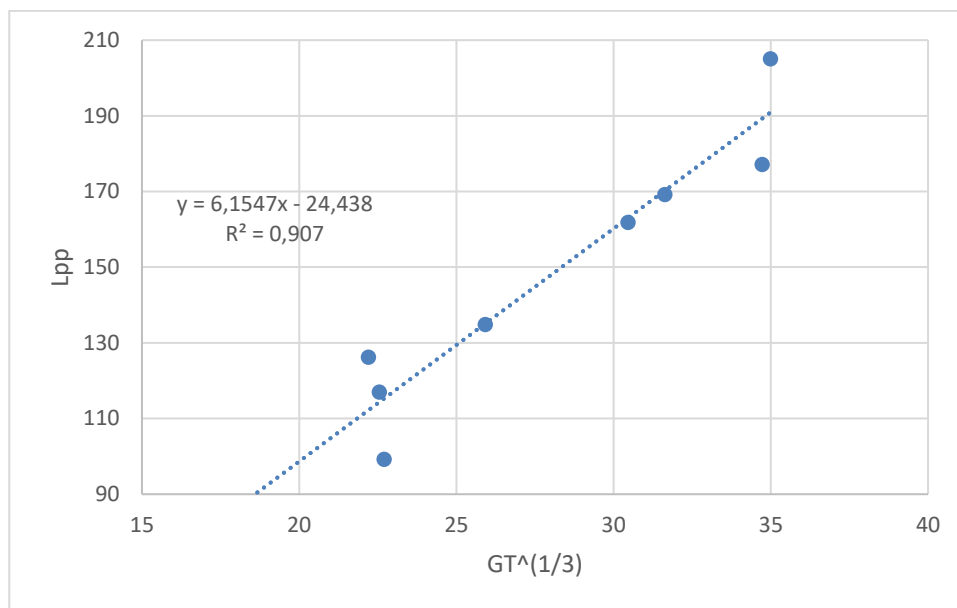
De esta relación se deduce la fórmula que relaciona el arqueo bruto con el número de pasajeros:

$$GT = 74,219 * Npax - 5543$$

$$GT = 21,175.8 \text{ gt}$$

Gracias a que sabemos que la eslora entre perpendiculares es función del arqueo bruto elevado a un tercio ($Lpp = f(GT^{\frac{1}{3}})$), podemos hallar mediante una nueva regresión lineal la eslora aproximada.

Gráfica 3: Relación Lpp - GT^(1/3)



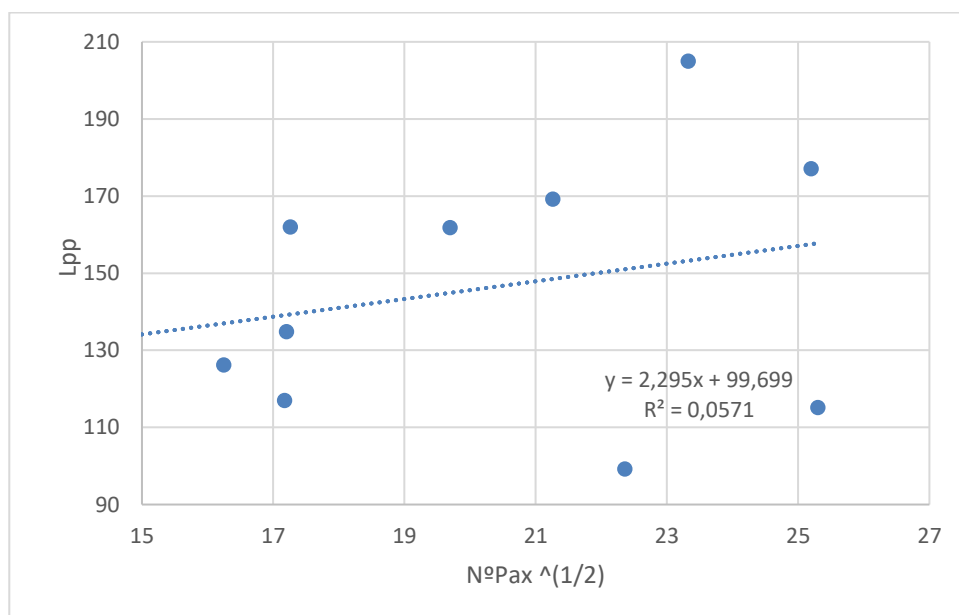
De donde obtenemos la relación entre ambos parámetros y la aproximación de Lpp:

$$Lpp = 6,1547 * GT^{\frac{1}{3}} - 24,438$$

$$Lpp = 145,8 \text{ m}$$

Para poder comparar los dos métodos, también sacamos Lpp en función del número de pasajeros sin necesidad de hacer el cálculo intermedio del GT. Para ello nos basamos en el conocimiento de que Lpp es función del número de pasajeros elevado a un medio ($Lpp = f(N^{\circ}Pax^{\frac{1}{2}})$).

Gráfica 4: Relación Lpp - N° Pax^(1/2)



Como podemos apreciar en la gráfica anterior hay dos puntos que destacan por un número de pasajeros elevado frente a una Lpp de pequeña magnitud comparado con el resto de puntos. Estos buques se corresponden con cruceros cuyas rutas se desarrollan por el mar de Noruega y el Océano Ártico y el tipo de servicios y de turismo que ofrecen no se corresponden con los del buque a diseñar. Por tanto, no se tendrán en cuenta para hallar dicha relación y las fórmulas que relacionan Lpp y el número de pasajeros que se obtienen son:

$$Lpp = 7,2626 * N^{\circ}Pax^{(1/2)} + 13.776$$

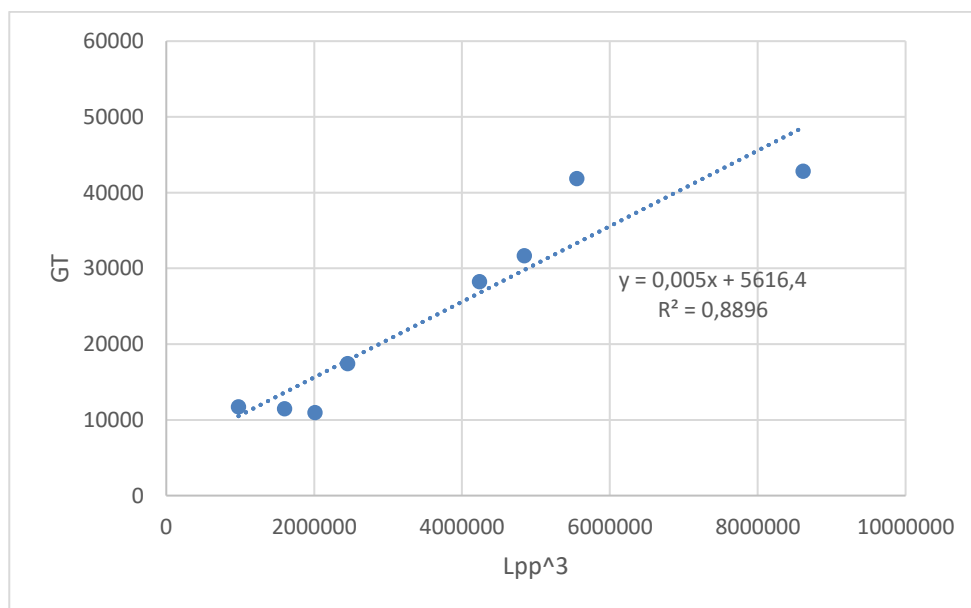
$$Lpp = 151,6 \text{ m}$$

Después de comparar los resultados obtenidos se decide que la Lpp sea la obtenida a través de la regresión lineal Lpp- $N^{\circ}Pax^{(1/2)}$ debido a que esta se lleva a cabo de forma directa sin cálculos intermedios. La decisión de tomar una eslora mayor a 150 metros también está basada en el barco que se ha escogido como referencia principal para el diseño de este buque, dado que se trata de un crucero de lujo y estos suelen estar destinados a gente que buscan viajar de forma cómoda y tranquila, y, por tanto, los camarotes suelen tener más espacio que los de cruceros de mayor envergadura. Finalmente,

$$Lpp = 151,6 \text{ m}$$

Ahora que disponemos de Lpp podemos volver a relacionarla con el arqueado bruto para obtener el GT en función de la eslora seleccionada.

Gráfica 5: Relación GT - Lpp^3



$$GT = 0,005 * Lpp^3 + 5616,4$$

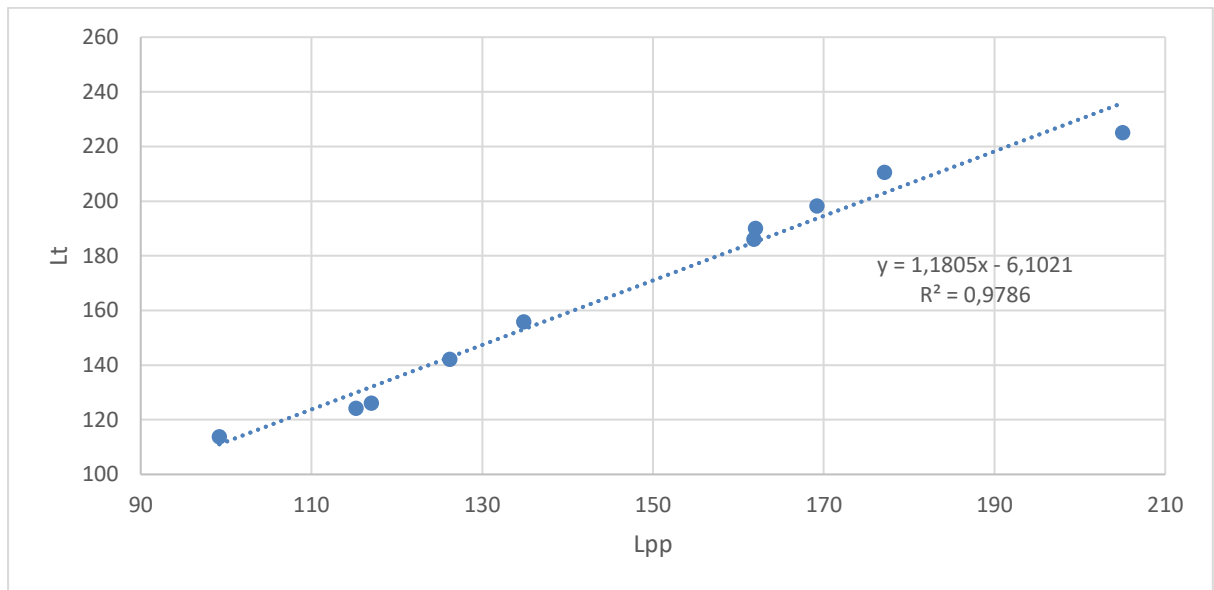
$$GT = 23.028,27 \text{ gt}$$

La eslora total o Lt es función de la eslora entre perpendiculares y por tanto también podemos obtenerla. La fórmula que relaciona ambas esloras es:

$$Lt = 1,1805 * Lpp - 6,1021$$

$$Lt = 178,8 \text{ m}$$

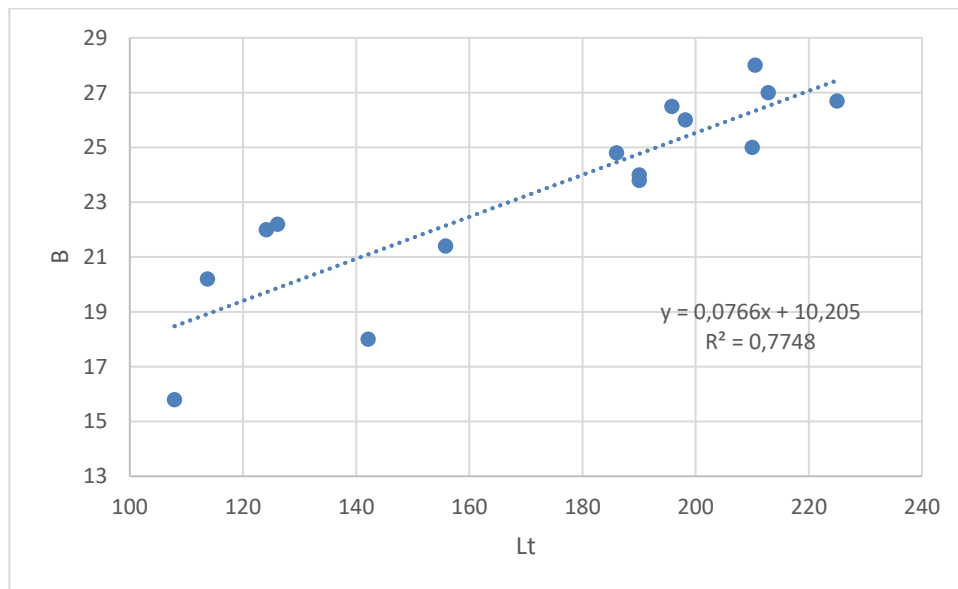
Gráfica 6: Lpp- Lt



Manga (B)

Para hallar la manga del buque, relacionamos la manga con la eslora entre perpendiculares y la eslora total.

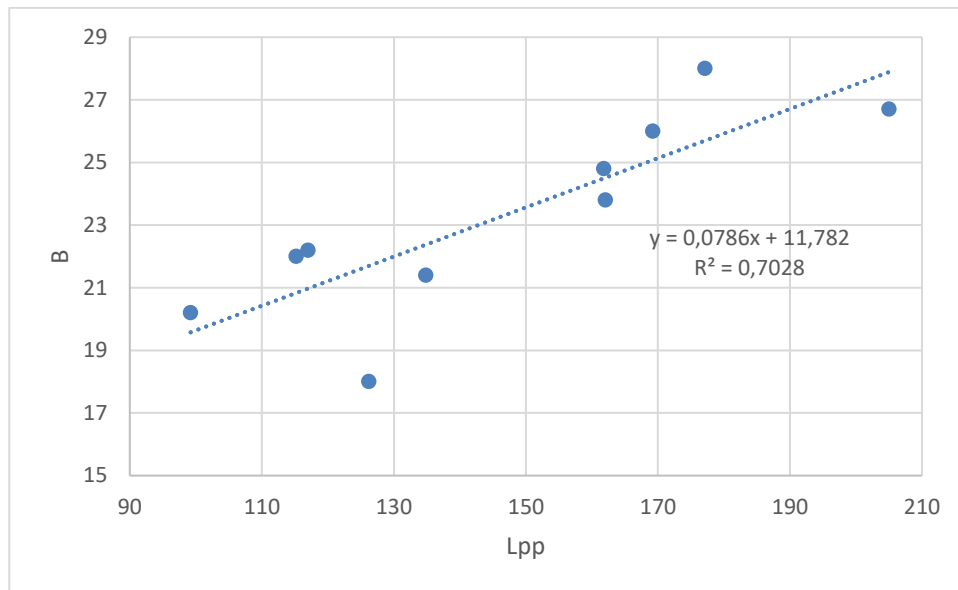
Gráfica 7: Relación Manga - Lt



$$B = 0,0766 * Lt + 10,205$$

$$B = 23,4 \text{ m}$$

Gráfica 8: Relación Manga - Lpp



$$B = 0,0786 * Lpp + 11,782$$

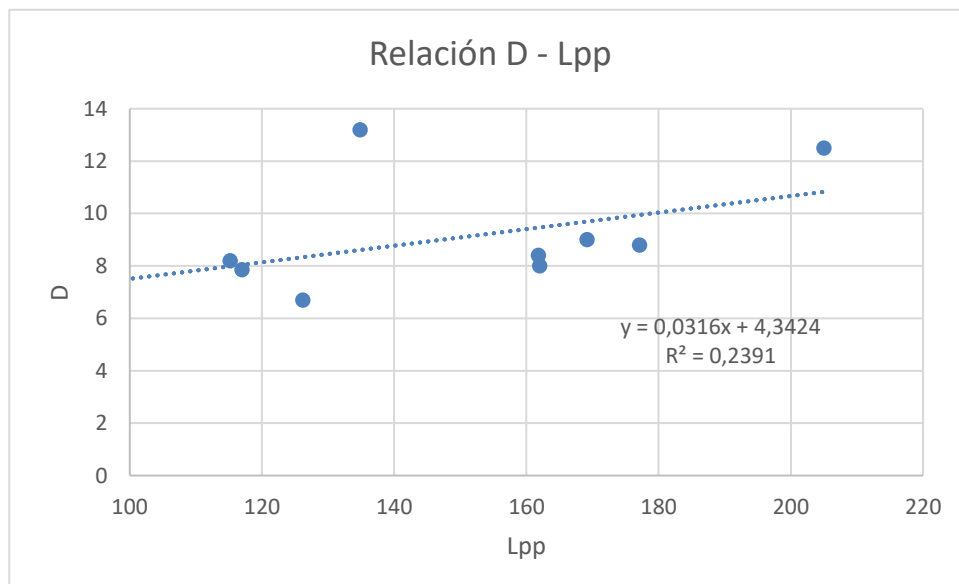
$$B = 23,7 \text{ m}$$

Para obtener el valor de la manga, dado que los dos valores obtenidos son muy parecidos, hacemos la media aritmética y obtenemos:

$$B = 23,6 \text{ m}$$

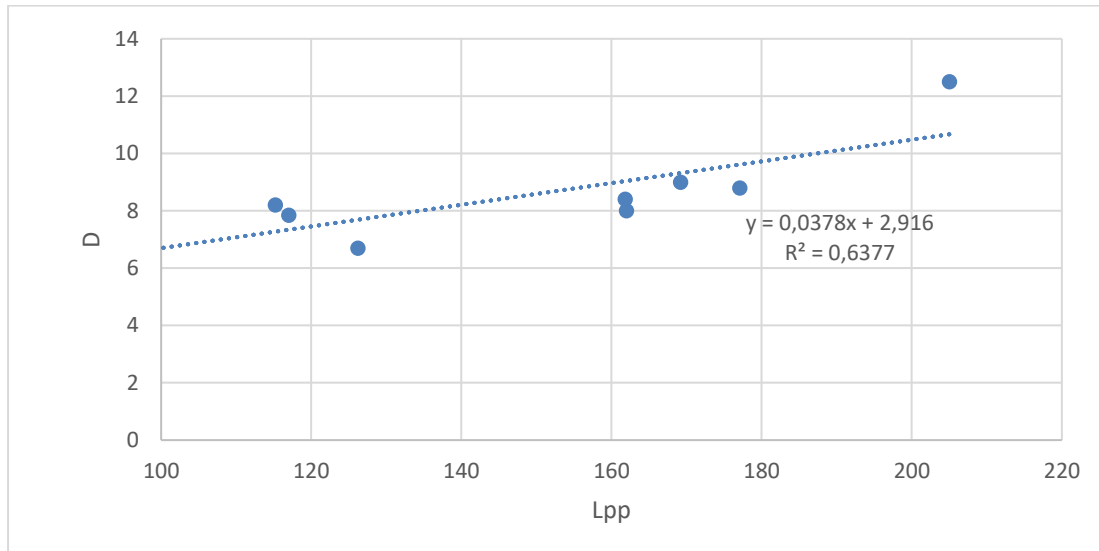
Puntal (D)

Para hallar una primera estimación del puntal que tendrá nuestro barco nos basamos en las siguientes relaciones: D/Lpp y D/B.



Como se puede apreciar en la gráfica hay un punto (134,84,13.2) correspondiente al buque Silver Cloud que está muy distanciado del resto de puntos. Este buque no lo vamos a tener en cuenta a la hora de hacer las regresiones lineales a la hora de hallar el puntal debido a que no nos interesa que nuestro buque tenga un puntal a la cubierta principal muy elevado. Por tanto, obtenemos:

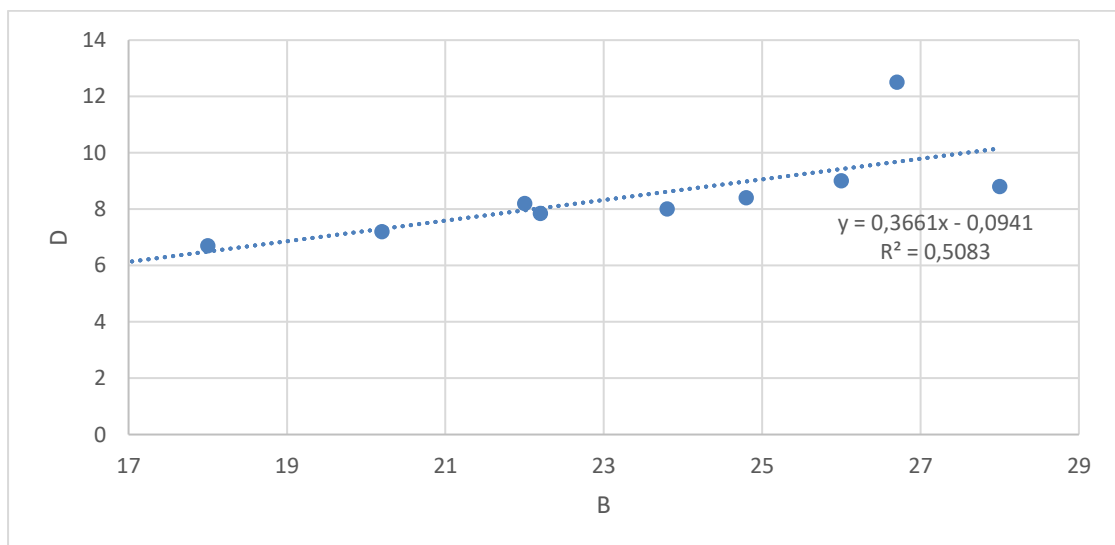
Gráfica 9: Relación D - Lpp



$$D = 0,0378 * Lpp + 2,916$$

$$D = 8,6 m$$

Gráfica 10: Relación D - B



$$D = 0,3661 * B - 0,0941$$

$$D = 8,5 m$$

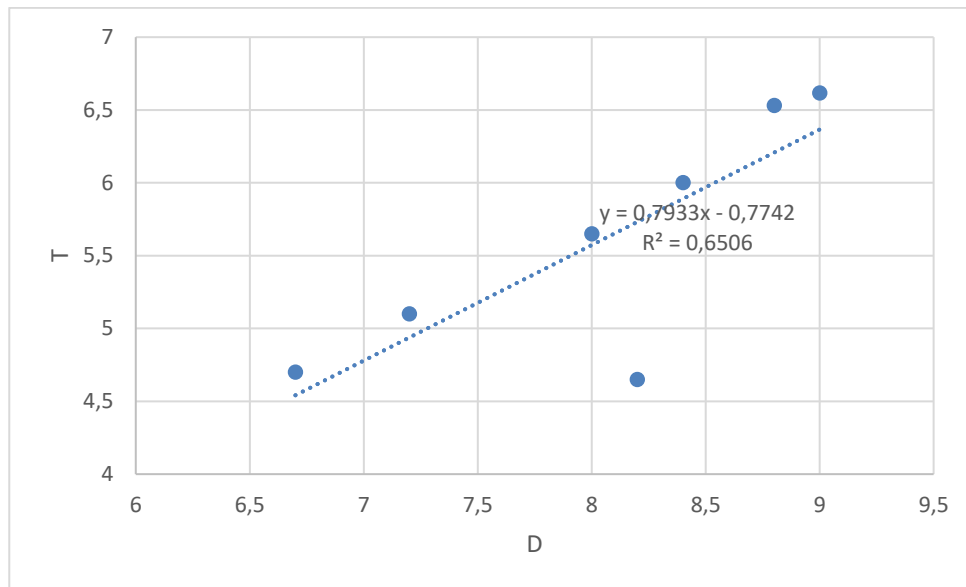
Por tanto, tomaremos como valor final del puntal la media de ambos valores obtenidos:

$$D = 8,6 m$$

Calado (T)

Para estimar el calado volvemos a operar de la misma forma:

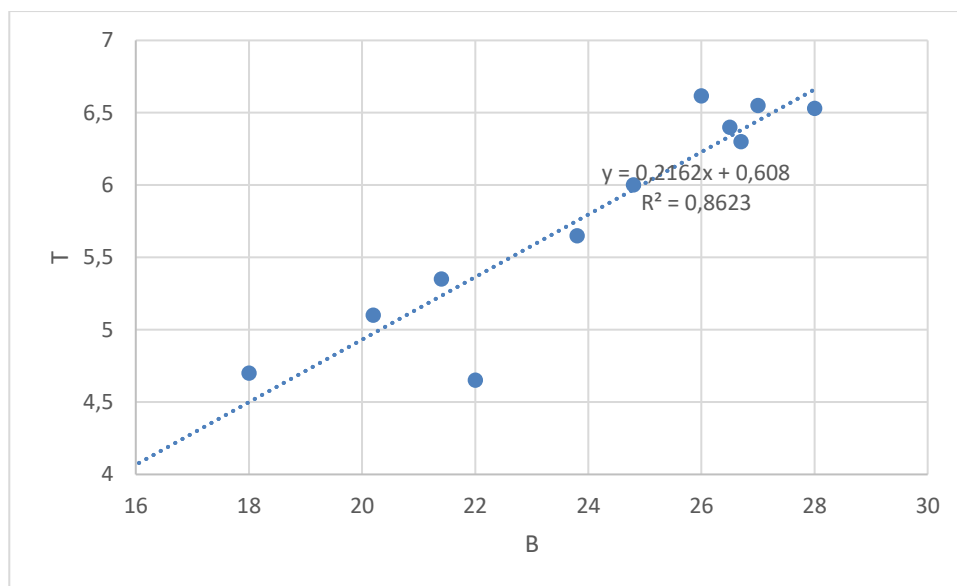
Gráfica 11: Relación T-D



$$T = 0,7933 * D - 0,7742$$

$$T = 6 m$$

Gráfica 12: Relación T-B



$$T = 0,2162 * B + 0,608$$

$$T = 5,7m$$

Por tanto, una primera estimación del calado será:

$$T = 5,9 m \text{ (media aritmética de los dos valores obtenidos)}$$

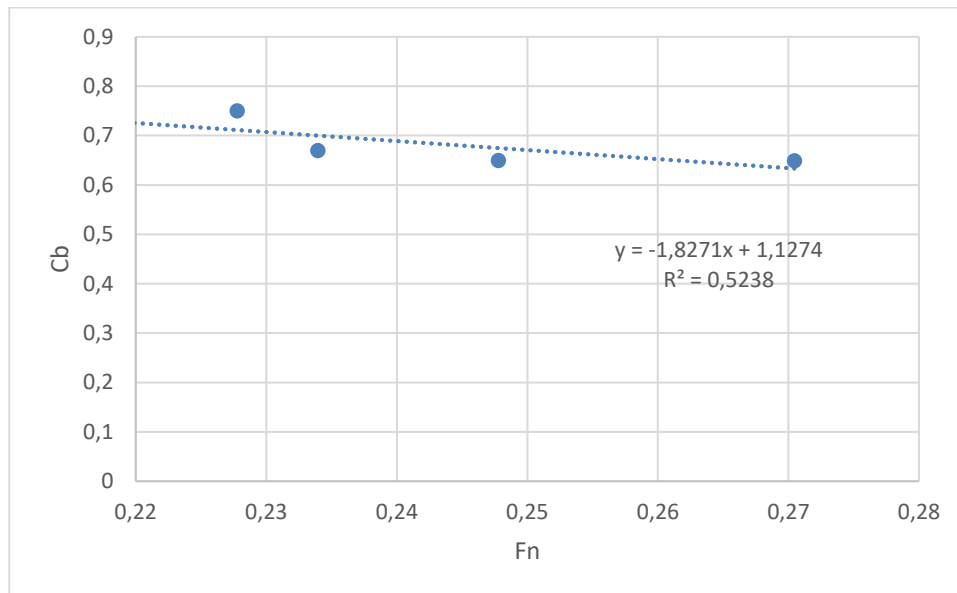
Coeficiente de bloque (Cb)

El coeficiente de bloque está muy relacionado con el número de Froude (Fn):

$$Fn = \frac{v}{\sqrt{g * l}}$$

Según la información de nuestra base de datos obtenemos la siguiente relación:

Gráfica 13: Relación Cb - Fn



$$Cb = 1.8271 * Fn + 1.1274$$

$$Cb = 0,74$$

Sin embargo, como el número de datos que disponemos para llevar a cabo la regresión es muy bajo utilizaremos también una formula obtenida mediante un estudio realizado por el Dr. Towsin de la Universidad de NewCastle, sacado de la publicación de abril de 1999 de *Ingeniería Naval* del artículo *Ingeniería básica en el proyecto de los buques de pasaje – Conceptos fundamentales*, por Fernando Junco Ocampo y Santiago López Recio:

$$Cb = 0,7 + \frac{1}{8} * \tan^{-1}(25 * (0,248 - Fn))$$

Con $Fn = v / (g * l)^{1/2}$, v en m/s, la eslora en metros y el ángulo en radianes.

$$Cb = 0,79$$

En la misma publicación, los autores también obtienen a través del estudio de buques crucero la siguiente relación:

$$Cb = 0,9082 - 0,9501 * Fn$$

Con la que obtenemos un valor:

$$Cb = 0,7$$

Finalmente, y teniendo en cuenta que los valores más usuales del coeficiente de bloque para buques cruceros suele estar en un rango entre 0.6 y 0.7, tomaremos:

$$Cb = 0,7$$

Coeficiente prismático (Cp):

El coeficiente prismático también se relaciona con el número de Froude. Del libro *El proyecto básico del buque mercante* obtenemos la siguiente relación:

$$C_p = 1,23 - 2,12 * Fn$$

$$C_p = 0,78$$

Coeficiente de la maestra (Cm):

$$C_m = \frac{C_b}{C_p}$$

$$C_m = 0,9$$

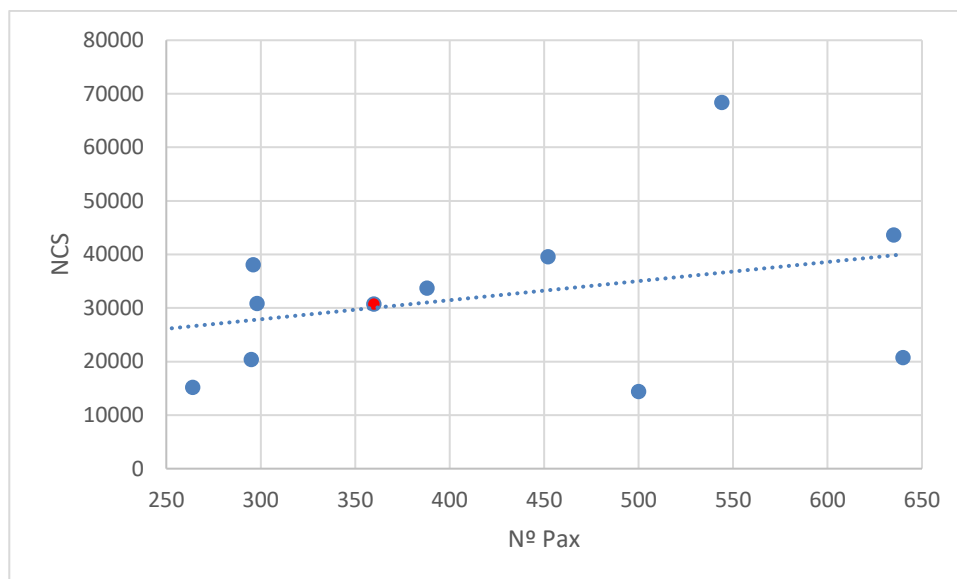
Coeficiente de flotación (Cwf):

$$C_{wf} = 0,284 + 0,778 * C_b = 0,83$$

Número cúbico superior (NCS):

$$NCS = L * B * D$$

Gráfica 14: NCS - NºPax



Como podemos observar en la gráfica, nuestro buque (punto rojo en la gráfica) con las dimensiones que hemos calculado está dentro del rango y por tanto podemos decir que los valores que hemos obtenido en un primer dimensionamiento de nuestro crucero son válidos.

5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS FAVORABLE

5.1 Elección de la Cifra de Merito

Con el fin de seleccionar la alternativa más favorable es necesario llevar a cabo un proceso de evaluación económica. El primer paso para llevar a cabo dicha evaluación es la elección de la “Cifra de Mérito”, que es el criterio fijado a seguir.

Los criterios más usados normalmente son:

- Coste de construcción (mínimo)
- Inversión total (mínimo)
- Costo de Ciclo de Vida (mínimo)
- Flete requerido (mínimo)
- Rendimiento Neto del Capital Propio (máximo)
- Rentabilidad interna (máxima)

En nuestro caso, la Cifra de Mérito seleccionada será el Coste de Construcción. Esta es la opción asignada al astillero debido a que un Costo de Construcción mínimo implica un beneficio máximo para la empresa. Además, esta elección tiene la ventaja de que su evaluación es muy fiable debido a que tiene pocos elementos aleatorios y ningún efecto importante en el tiempo.

5.2 Generación de alternativas y selección

Para generar las alternativas que emplearemos para posteriormente seleccionar la más favorable actuaremos de la siguiente forma:

- Varío la eslora entre perpendiculares, obtenida mediante regresiones lineales, entre el 90 y el 110%. Por lo que obtenemos 15 esloras entre 137 y 167m.
- A cada eslora le asigno una manga que variará de nuevo entre el 90 y el 110% de la obtenida de las regresiones lineales y obtenemos para cada eslora, 11 valores de la manga entre 25,9 y 21,2m.
- Varío el coeficiente de bloque de la misma forma para cada manga entre 0,74 y 0,67.

Finalmente tendremos 1760 alternativas.

El siguiente paso es hallar las características de las alternativas generadas, que se realizará mediante un proceso de iteración, empleando la formulación obtenida en el libro Proyectos de buques y artefactos. Criterios de evaluación técnica y económica del proyecto de un buque de Fernando Junco Ocampo:

1. En primer lugar, hallamos el valor del puntal. Como el volumen de las alternativas generadas ha de ser igual o superior al volumen del buque base para asegurarnos que la capacidad del buque no disminuye, lo calculamos con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{L_0 * B_0 * D_0}{L * B}$$

2. Cálculo del coeficiente prismático y del coeficiente de la maestra mediante las fórmulas empleadas previamente en el dimensionamiento preliminar:

$$C_p = 1,23 - 2,12 \cdot F_n$$

$$C_m = \frac{C_b}{C_p}$$

3. Cálculo del desplazamiento. Para hallar el desplazamiento de cada alternativa es necesario ver cuanto varía el desplazamiento del buque base al producirse las variaciones en la eslora, la manga y el coeficiente de bloque. Los pesos que varían los descompondremos en tres categorías:

- a. Peso del acero del buque (PS). Hallado mediante la fórmula:

$$PS = 0,03 * L * B * D * \left(\frac{L}{D}\right)^{1/2}$$

- b. Peso de la maquinaria (PQ). Cuya estimación se obtiene a partir de la potencia del buque. En una fase preliminar el peso total de la maquinaria puede estimarse a partir de la siguiente expresión, obtenida del libro *Proyectos de buques y artefactos*. Cálculo del desplazamiento de Fernando Junco Ocampo:

$$PQ = 0,075 \cdot Pot(kW) * 300(t)$$

Donde la potencia se estima en función del desplazamiento:

$$Pot = k_{pot} * \Delta^{\frac{2}{3}}$$

Y k_{pot} lo obtenemos del buque de referencia: $k_{pot} = \frac{Pot_{ref}}{\Delta^{\frac{2}{3}}} = \frac{(2*4600)}{(L*B*T)^{\frac{2}{3}}} = 14,55$

- c. Peso de los equipos restantes (PER):

$$PER = 0,045 * L^{1.3} * B^{0.8} * D^{0.3}$$

Finalmente, el valor del desplazamiento será:

$$\Delta = \Delta_{base} + dPS + dPM + dPER$$

Donde $dPS = PS_i - PS_0$, $dPQ = PQ_i - PQ_0$ y $dPER = PER_i - PER_0$.

4. Cálculo del calado. Una vez conocido el desplazamiento ya podemos hallar el calado:

$$T = \frac{\Delta}{L * B * Cb}$$

El siguiente paso es realizar los cálculos que nos permitan estimar los Costes de Construcción (CC) del buque y elegir aquellas alternativas en las cuales es menor.

$$CC = CMg + CEq + CMo + CVa$$

Donde,

CMg es el costo de los materiales a granel (en nuestro caso del acero)

CEq es el coste de los equipos (incluiremos coste de la maquinaria y de los equipos restantes)

CMo es el coste de la mano de obra

CVa incluye los costes extras del astillero.

Si desarrollamos la fórmula:

$$CC = (cca * cas * cem * ps + chm * csh) * PS + CEc + cep * BP + chf * nch * NT + ccs * ps + cva * CC$$

Siendo:

- ccs el coeficiente ponderado de las chapas y perfiles de distintas calidades de acero $1,25 < ccs < 1,35$, tomaremos un valor medio e igual a 1,30.
- cas el coeficiente de aprovechamiento del acero $1,08 < cas < 1,15$, cogiendo un valor intermedio $cas = 1,12$.
- cem el coeficiente de incremento por equipo metálico $1,03 < cem < 1,10$, tomaremos $cem = 1,08$.
- chm el coste horario medio del astillero $21/25 < chm < 30/40$, tomaremos un valor intermedio $chm = 30€/hora$.

- csh coeficiente de horas por unidad de peso $20/30 < csh < 80/100$, por lo que cogeremos $csh = 65 \text{ €/tn}$.
- CEc el coste de los equipos de manipulación de carga,
- cep el coeficiente de coste por unidad de potencia de los equipos de propulsión y sus auxiliares $300 < cep < 400 \text{ €/kW}$ y tomaremos $cep = 400$.
- BP la potencia estimada.
- chf el coeficiente de coste unitario por habilitación de tripulante.
- nch coeficiente de nivel de la calidad de la habilitación.
- NT la tripulación.
- cva el coeficiente de los costes varios del astillero $0,05 < cva < 0,10$, tomaremos un valor medio e igual a $0,08$.

Para poder elegir la alternativa cuyos costes de construcción son menores, calcularemos la diferencia de costes entre construir el buque base y construir cualquiera de las alternativas generadas por lo que solo tendremos en cuenta aquellas componentes de los CC que varían de una alternativa a otra. Es decir, no calcularemos los costes asociados a la tripulación y habilitación dado que en todas las alternativas tendremos el mismo número de pasajeros a bordo y tampoco consideraremos los equipos de manipulación de carga debido a que al ser un buque de pasaje estos equipos no tienen gran importancia y serán los mismos en todas las alternativas.

Por lo tanto, procederemos a multiplicar por los factores de conversión las diferencias de pesos (dPS , dPM y $DPER$) calculadas anteriormente, lo que nos dará el ahorro o el gasto de escoger esa alternativa en comparación con el buque base.

$$dCPS = k_s * dPS$$

$$dCPQ = k_m * dPot$$

$$dCER = k_{er} * dPER$$

Donde $dPot = Pot_i - Pot_0$.

Por lo que, los factores de conversión resultan:

$$k_s = ccs * cas * cem * ps + chm * csh$$

$$k_m = cep$$

$$k_{er} = cer = ccs * ps$$

y resultando,

$$k_s = 2.657,616 \text{ €/tn}$$

$$k_m = 400 \text{ €/kW}$$

$$k_{er} = 585 \text{ €/tn}$$

La diferencia monetaria entre construir el buque base cuyas características se definieron a través de la base de datos empleando regresiones lineales y construir una de las alternativas generadas será:

$$dCoste = (dCPS + dCPM + dCER) * 1,08$$

$dCoste$ representa el ahorro total o el gasto a mayores que supone construir el buque de una alternativa determinada en comparación con la construcción del buque base. Por tanto, la alternativa seleccionada será aquella que implique un ahorro mayor, es decir, un $dCoste$ menor.

A continuación, es necesario realizar una comprobación para asegurarnos de eliminar aquellas alternativas cuyas características no se corresponden con las necesidades que tenemos para nuestro proyecto. Por tanto, llevaremos a cabo una criba para descartar aquellas alternativas en las que $\frac{Lpp}{D}$, $\frac{B}{D}$ y $\frac{T}{D}$ no se encuentran dentro de los rangos deseados.

Los rangos los fijaremos con la ayuda de la base de datos, escogiendo aquellos barcos que mejor se ajustan a nuestro buque y seleccionando entre ellos los valores mínimos y máximos de dichas relaciones. Los rangos que fijaremos serán los siguientes:

$$16,4 \leq \frac{L}{D} \leq 20,25$$

$$2,68 \leq \frac{B}{D} \leq 2,975$$

$$0,504 \leq \frac{T}{D} \leq 0,74$$

Finalmente, nos quedamos con las alternativas que cumplen estos tres requisitos y que suponen unos Costes de Construcción menores, es decir, un ahorro para el astillero mayor.

Tabla 2: Alternativas

L	B	D	T	Cb	CM	CP	FN
145	24	8,8	5,68	0,74	0,964	0,767	0,218
145	24	8,8	5,75	0,73	0,951	0,767	0,218
145	24	8,8	5,83	0,72	0,938	0,767	0,218
145	24	8,8	6	0,71	0,925	0,767	0,218
145	24	8,8	6	0,7	0,912	0,767	0,218
145	24	8,8	6,08	0,69	0,899	0,767	0,218
145	24	8,8	6,18	0,68	0,886	0,767	0,218
145	24	8,8	6,27	0,67	0,873	0,767	0,218

La alternativa seleccionada finalmente será la marcada en rosa en la tabla superior. La decisión se basó en el valor del coeficiente de bloque dado que como ya se ha dicho previamente, para buques cruceros el rango más habitual para este valor es $0.6 \leq C_b \leq 0.7$. Por otra parte, nos interesa que el calado se mantenga en valores próximos a los que nos dio en el dimensionamiento preliminar.

6 COMPROBACIÓN DEL FRANCOBORDO

Antes de continuar adelante debemos comprobar que la alternativa seleccionada cumple con el francobordo mínimo exigido según el Convenio Internacional sobre Líneas de Carga de 1966/1988, teniendo en cuenta el calado de la alternativa seleccionada anteriormente. La comprobación del francobordo se llevará a cabo con la ayuda de un documento Excel facilitado en la asignatura de Proyectos de Buque y Artefactos Marinos I.

Las características del buque son:

$$L_{pp} = 145m$$

$$B = 24m$$

$$D = 8,8m$$

$$T = 6 m$$

$$Cb = 0,7m$$

El francobordo se calculará siguiendo las normas establecidas en el convenio anteriormente mencionado:

Regla 27: Define el tipo del buque. En este caso se trata de un buque tipo B porque no está destinado al transporte de carga líquida a granel.

Regla 28: Francobordo tabular. Para poder buscar en las tablas del convenio el francobordo tabular es necesario definir primero lo que se entiende como eslora de francobordo. La eslora de francobordo es igual al 96% de la eslora total de una flotación situada a una distancia por encima de la quilla igual al 85% del puntal mínimo de trazado. Como estamos haciendo un cálculo preliminar aún no conocemos este valor y por tanto tomaremos $L=L_{pp}$, cuyo valor sí que conocemos. Mirando en las tablas correspondientes para buques tipo B, obtenemos que el francobordo tabular para una eslora de 145m es de 2209mm.

Regla 30: Corrección por coeficiente de bloque. Al tener un C_b mayor a 0.68, el francobordo tabular tiene que ser multiplicado por el factor $\frac{Cb+0.68}{1.36}$. Por tanto, la corrección será igual a 33mm.

Regla 31: Corrección por puntal. Aunque en nuestro caso el puntal D no excede de $\frac{L}{15}$, el buque cuenta con una superestructura cerrada con una longitud superior a $0,6 L$ en el centro del buque por lo que habrá que aplicar una corrección de -217mm.

Regla 33: Altura normal de las superestructuras. La altura normal en metros será de 2,30.

Regla 34: Longitud de las superestructuras y longitud efectiva. En el caso de nuestro buque, la superestructura tiene la misma longitud que la eslora del barco.

Regla 37: Reducción por superestructuras y troncos. La superestructura ocupa toda la eslora y $L > 122m$ por lo que el francobordo se reduce una cantidad de 1070 mm.

Regla 38: Arrufo. Como nuestro crucero no tiene arrufo tenemos que calcular la corrección del francobordo debido a la diferencia con la curva de arrufo normal definida en el convenio.

Tabla 3: Curva de arrufo normal

Localización	Ordenada	Factor	Producto	
Perp. De popa	1410	1	1410	
1/6 L from A.P.	626	3	1878	
1/3 L from A.P.	158	3	474	
Centro del barco	0	1	0	Arrufo de popa 3762
Centro del barco	0	1	0	
1/3 L from A.P.	316	3	948	
1/6 L from A.P.	1252	3	3756	
Perp. De proa	2820	1	2820	Arrufo de proa 7524

En nuestro caso, como no tenemos arrufo, las diferencias entre las sumas de los productos del arrufo real y la de los productos correspondientes al arrufo normal son los valores del arrufo de popa y de proa. Estos valores divididos por 8 indican la deficiencia o exceso de arrufo en las mitades de proa y de popa. La media aritmética, teniendo en cuenta las superestructuras, de los valores así obtenidos expresa el exceso o deficiencia de arrufo de la cubierta. Este valor multiplicado por un factor de 0.25 nos da la corrección por arrufo que es de -181 mm.

Francobordo de verano: el francobordo de verano es el francobordo tabular más las correcciones. Por tanto,

$$FB_{\text{verano}} = 2209 + 33 - 217 - 1070 - 181 = 773\text{mm}$$

Finamente, los resultados finales son:

Tabla 4: Francobordo

Francobordo de verano	773mm
Calado de verano	8027mm
Francobordo tropical	606mm
Francobordo de invierno	941mm
Francobordo agua dulce	749 mm

Se puede encontrar en el anexo 2, el documento utilizado.

7 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA

Para estimar la potencia propulsora se empleará de nuevo una herramienta Excel facilitada en la asignatura de Proyectos del Buque y Artefactos Marinos I. Esta herramienta utiliza el método Holtrop.

Para ello, metemos en el Excel los datos estimados de nuestro buque:

"A statistical re-analysis of resistance"

datos del buque:

dimensiones principales			
Lpp	145	[m]	eslora entre perpendiculares
Lf	145	[m]	eslora de la flotación
B	24.04	[m]	manga
Tm	6.15	[m]	calado en medio
Tpr	6.15	[m]	calado en proa
Tpp	11.9	[m]	calado en popa
Lcb	0.5	[m]	posición longitudinal del centro de carena
coeficientes de formas			
Cb	0.7		coeficiente de bloque
Cm	0.9		coeficiente de la cuaderna maestra
Cp	0.7775		coeficiente prismático
Cf	0.83		coeficiente de la flotación
superficie mojada			
Sm	1617.475	[m²]	área mojada del casco
Smap	25	[m²]	área mojada de los apéndices
Ae	50	[m²]	área mojada del espejo
bulbo de proa			
Atb	30	[m²]	área transversal del bulbo
Hb	5	[m]	altura del bulbo
otros datos			
le	32.904713	[°]	semiángulo de entrada de la flotación
Ks	150	[µm]	rugosidad del casco
forma de popa	u		
características del agua			
densidad	1025.9	[Kg/m³]	
viscosidad cinemática	1.883E-06	[m²/s]	
Se deducen:			
Am	133.0614	[m²]	área de la cuaderna maestra
V (desplacamiento)	15006.389	[Kg]	desplacamiento del buque

helice	
D =	3.1
Ae/A0 =	0.8495

Figura 2: Estimación potencia propulsora

La superficie mojada se estimó siguiendo la fórmula:

$$Sm = L * T * (1,7 + \frac{Cb}{T})$$

Y el ángulo de incidencia con la fórmula:

$$le = 125,67 * B/Lpp - 162,25Cp^2 + 234,32Cp^3 + 0,1551(Lcb^3)$$

El diámetro de la hélice se seleccionó en función del diámetro de los propulsores de los buques de la base de datos.

Los resultados obtenidos de la potencia son los siguientes.

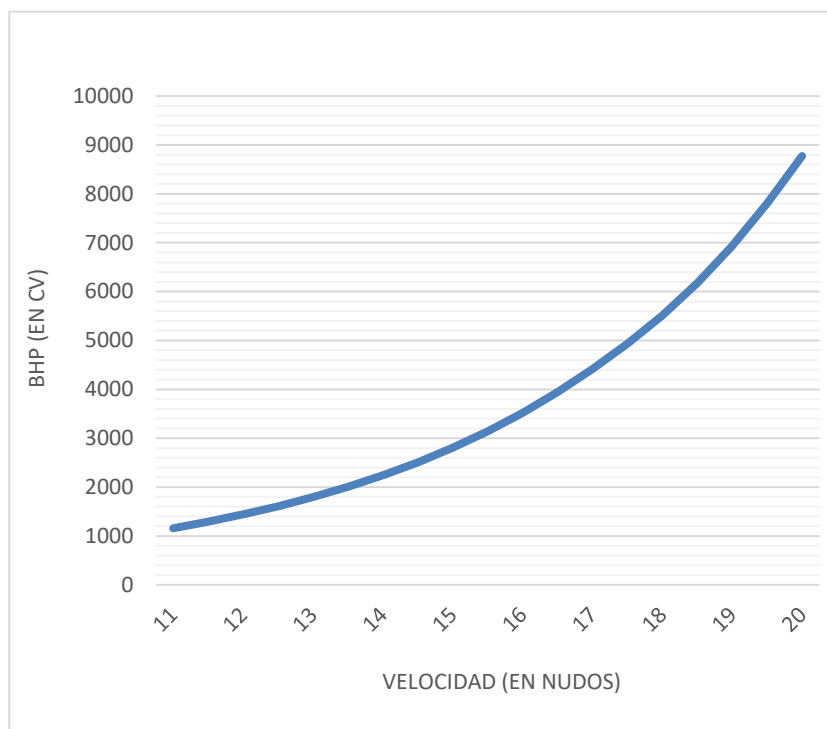


Figura 3: Curva BHP-Velocidad

Para una velocidad de 16 nudos:

velocidad	EHP holtrop	BHPholtrop	
16	2667,54233	3518,77204	CV
16	1989,18632	2623,94831	KW

Como podemos observar la potencia estimada mediante este método tiene un valor mucho inferior a la potencia del buque base. Por tanto, para poder comparar ambos, estimamos empleando la misma herramienta la potencia del buque base y obtenemos los siguientes resultados:

Velocidad	EHP holtrop	BHPholtrop	
16	2394,71518	3160,88288	CV
16	1785,73911	2357,07036	KW

Como se puede apreciar, la potencia estimada para la alternativa seleccionada es mayor porque tiene una manga y un calado mayor que el buque de referencia, pero ambas potencias están en un mismo rango de valores.

Sin embargo, la potencia propulsora real del buque es de $2 \times 4600 = 9200 \text{ kW}$ y la estimada para nuestra alternativa de 8853 kW. Esto puede deberse a que por el momento los valores

empleados para la estimación de la potencia son muy aproximados y más adelante se realizará un cálculo más preciso en el cuadernos 6 a partir del cual se definirán los elementos propulsores del buque.

Por tanto, para estimar la potencia propulsora total de nuestro buque hallaremos el coeficiente que relaciona la potencia propulsora del buque base y de nuestro buque, a partir de las potencias estimadas mediante Holtrop:

$$k = \frac{2623,9483}{2357,07036} = 1,11322443$$

Y la estimación final de la potencia propulsora de nuestro buque será la potencia real del buque de referencia por el factor de conversión que acabamos de calcular, es decir:

$$k = 9200 * 1,11322443 = 10242kW$$

Finalmente, para hallar la potencia del grupo diésel, llevamos a cabo el mismo procedimiento. El buque de referencia tiene 4 motores de 3600kW cada uno. Por tanto, supondremos que nuestro buque también dispondrá de 4 motores diésel de la siguiente capacidad:

$$Pot_{generador\ diesel} = 3600 * 1,11322443 = 4008kW/motor$$

8 PESO EN ROSCA

El peso en rosca es el peso del buque completo con todos sus componentes, aunque sin incluir: el peso de la tripulación con su equipo correspondiente, líquidos en circulación, víveres, combustible, lubricante, agua y carga propiamente dicha. Es decir, a grandes rasgos, incluye los siguientes pesos:

$$P_{rosca} = P_{acero} + P_{maquinaria} + P_{equipo\ restante}$$

Para nuestro buque:

$$P_{rosca} = 3736,5 + 710,8 + 964 = 5411,3\ t$$

Y el desplazamiento es igual a la suma del peso en rosca más el peso muerto:

$$\Delta = P_{rosca} + P_{muerto} = 15008\ t$$

Por tanto,

$$P_{muerto} = 9596,7\ t$$

Si calculamos el desplazamiento para el buque de referencia obtenemos un valor: $\Delta_{b.ref} = 15899\ t$ que como podemos apreciar está dentro del mismo rango que el buque que hemos seleccionado.

Sin embargo, en las especificaciones del buque de referencia nos indican que el peso nuestro a 5.57m es aproximadamente 1740 t. Por lo tanto, podemos deducir que a la hora de llevar a acabo el cálculo de los pesos de nuestro buque nos hemos quedado muy cortos y por eso nos da un peso muerto tan elevado. El motivo por el que nos da un peso en rosca tan reducido se debe a que a la hora de calcular los pesos de nuestro buque no hemos tenido en cuenta toda la superestructura que en nuestro buque dispone de gran importancia. Por tanto, no podemos comparar los pesos muertos de los dos buques mediante este procedimiento.

Para saber si nuestro buque se encuentra en un rango similar al del buque de referencia calcularemos, como hemos hecho para nuestro buque proyecto, el peso en rosca del buque base siguiendo las fórmulas del apartado 6.2. Es decir, para el buque base:

$$P_{rosca} = P_{acero} + P_{maquinaria} + P_{equipo\ restante}$$

- Peso del acero (PS):

$$PS = 0.03 * L * B * D * \left(\frac{L}{D}\right)^{\frac{1}{2}} = 0,03 * 162 * 23,80 * 8 * \left(\frac{162}{8}\right)^{\frac{1}{2}} = 4164,048$$

- Peso de la maquinaria:

$$PQ = 0,075 \cdot Pot(kW) + 300(t) = 0,075 * 9057,34 + 300 = 979,3\ t$$

$$Pot = k_{pot} * \Delta^{\frac{2}{3}} = 14,55 * 15531,2493^{\frac{2}{3}} = 9057,33824\ kW$$

Donde $k_{pot} = 14.55$ y el valor del desplazamiento procede de la fórmula:

$$\Delta = \Delta_{base} + dPs + dPM + dPER$$

Los parámetros se calcularon igual que en el apartado 6.2.

- Peso de los equipos restantes (PER):

$$PER = 0,045 * L^{1.3} * B^{0.8} * D^{0.3} = 790,261081\ t$$

Por tanto, el peso en rosca del buque de referencia o buque base nos da el siguiente valor:

$$P_{rosca} = 4164 + 979,3 + 790,26 = 5933,6\ t$$

Finalmente, podemos ver que los dos valores del peso en rosca calculados siguiendo el mismo procedimiento se encuentran en el mismo rango, al mismo tiempo que el resultado tiene sentido. El peso en rosca del buque de referencia es de 5934 toneladas frente a las 5411 toneladas del buque proyecto y esto tiene sentido porque la dimensión de la eslora en el buque de referencia es mucho mayor.

9 DISPOSICIÓN GENERAL Y CUADERNA MAESTRA

Las dimensiones obtenidas mediante el procedimiento descrito se tomarán como punto de partida para desarrollar el anteproyecto del buque crucero, así como para llevar a cabo el planteamiento de una disposición general preliminar. Esta disposición general preliminar vendrá determinada por los espacios que necesitamos incluir a bordo. En esta primera aproximación se definirán el número de cubiertas que poseerá el buque entre otras consideraciones a tener en cuenta.

El buque contará con 10 cubiertas. La cubierta inferior, que tendrá con un puntal mayor, estará destinada a alojar espacios de máquinas y será de acceso exclusivo de la tripulación. Las cubiertas superiores estarán destinadas a los espacios de pasajeros. Estos espacios deben de contener 180 camarotes dobles, de los cuales al menos el 80% deben de ser exteriores. Partiendo de los buques de la base de datos se observan que en los cruceros de pequeño porte existe la tendencia de disponer el 100% de los camarotes exteriores. El motivo de esta decisión viene marcado por el interés del pasaje de disponer de espacios con luz natural y con vistas al mar. Por tanto, la disposición general preliminar contemplará el 100% de los camarotes exteriores para hacer el crucero más atractivo a los clientes. Además, la separación de cubiertas en la zona dedicada al pasaje será de 3 metros para proporcionar una sensación de amplitud.

Las cubiertas superiores irán decreciendo en eslora de arriba abajo y a partir de la cubierta 5, todas las cubiertas dispondrán de camarotes con balcón y zonas exteriores de ocio. Existirán diferentes tipologías de camarotes en función de su tamaño, ubicación y servicios que ofrecen con el fin de ofertar una mayor variedad a los clientes. Los camarotes no tendrán nunca una superficie inferior a 29 m² sin balcón o 25 m² con zona de balcón privado a mayores. Con esto nos aseguramos de que los camarotes resultarán cómodos y de un tamaño apropiado. Todos los camarotes contarán al menos con baño privado compuesto por bañera, retrete y lavabo doble, cama de matrimonio, armario, zona de descanso y escritorio.

Las zonas comunes irán ubicadas a partir de la cubierta 4 a popa. Estas zonas comunes incluirán los siguientes espacios: restaurantes, zonas de bares y piscina, sala de fiestas, tiendas y sala de juegos. Además, en la cubierta superior se ubicará un gimnasio, un spa y un salón de belleza para aquellos clientes que desean dedicar su estancia al cuidado personal. En la cubierta 4 se encontrará la recepción a través de la cual accederán el pasaje.

A la hora de diseñar la disposición general también será necesario considerar las zonas de fuego establecidas por el Capítulo II-2 del SOLAS. En función de la eslora del buque se prevé que el buque esté dividido en 3 zonas de fuego verticales principales y todas ellas deberán de albergar los medios de evacuación que precisa el SOLAS para buques de pasaje de las características correspondiente. Cada zona de fuego deberá contar con dos medios de evacuación uno de ellos independiente de puertas estancas lo que se traduce en la existencia obligatoria de un tronco de escaleras vertical en cada zona vertical principal

También será un factor de gran importancia los medios de evacuación y salvavidas al ocupar un espacio significativo a ambas bandas del buque. Los medios de extinción contraincendios estarán compuestos por un sistema de agua nebulizada que se extenderá por toda las cubiertas del buque y cuya instalación central se ubicará sobre la cubierta 1 en un local destinado especialmente a tal fin.

Debido a la operación del buque será necesario reservar un espacio a proa dedicado al amarre y fondeo. Este espacio se encontrará sobre la cubierta castillo en la cubierta número 5, se encontrará abierta a la intemperie y alojará la maquinaria dedicada a tal fin, así como la caja de cadenas cuyas dimensiones se calcularán posteriormente. A popa también se reservará un espacio de amarre abierto a la intemperie sobre la cubierta 5.

Desde la cubierta de máquinas debe reservarse un espacio para el guardacalor a través del cual se eliminará el calor generado en los grupos generadores principales. El guardacalor atravesará todas las cubiertas y ha de ser de tamaño suficiente como para expulsar el calor

generado al exterior. Existirá un único guardacalor de donde procederán los gases calientes de los cuatro grupos generadores principales.

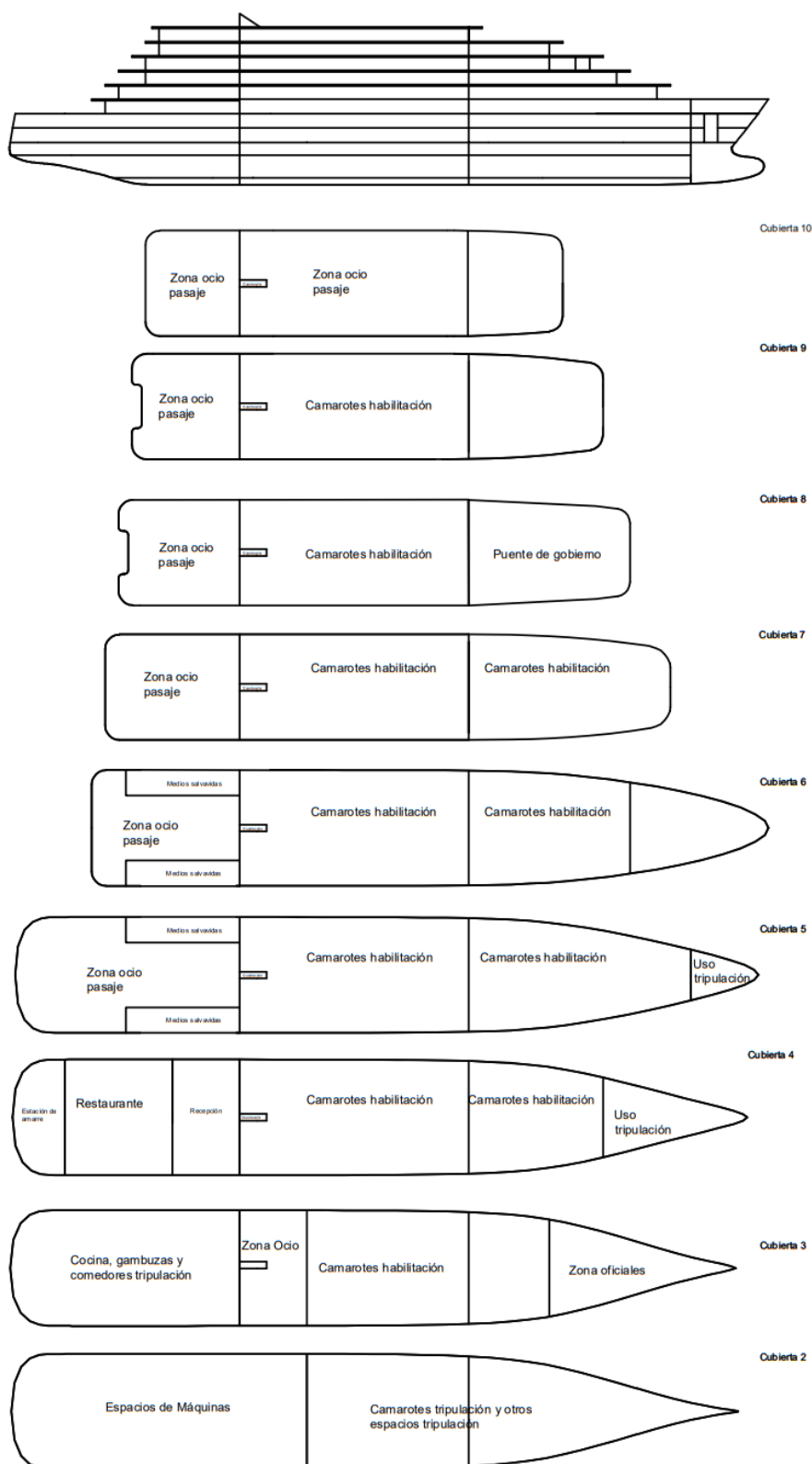


Figura 4: Disposición general

Por otro lado, el buque contará con mamparos estancos a lo largo de su eslora. El número mínimo de mamparos estancos transversales, así como la posición del mamparo de colisión vendrán impuestos por el reglamento de la Sociedad de Clasificación DNV GL. Los mamparos estancos transversales se extenderán hasta la cubierta principal. Además, se dotará al buque de los requisitos exigidos para cumplir el “Safe Return to Port” o vuelta segura a puerto al tratarse de un buque de pasaje con más de 36 personas a bordo. Esta normativa tendrá varias aplicaciones prácticas como que el buque debe poseer una cámara de máquinas dividida (tanto la cámara de máquinas de los grupos generadores como la cámara de máquinas de los motores eléctricos principales que se encontrarán a popa) así como la disposición de “Safe Areas” y también se decidirá la instalación de un doble casco para reducir la posibilidad de inundación de compartimentos entre mamparos estancos transversales.

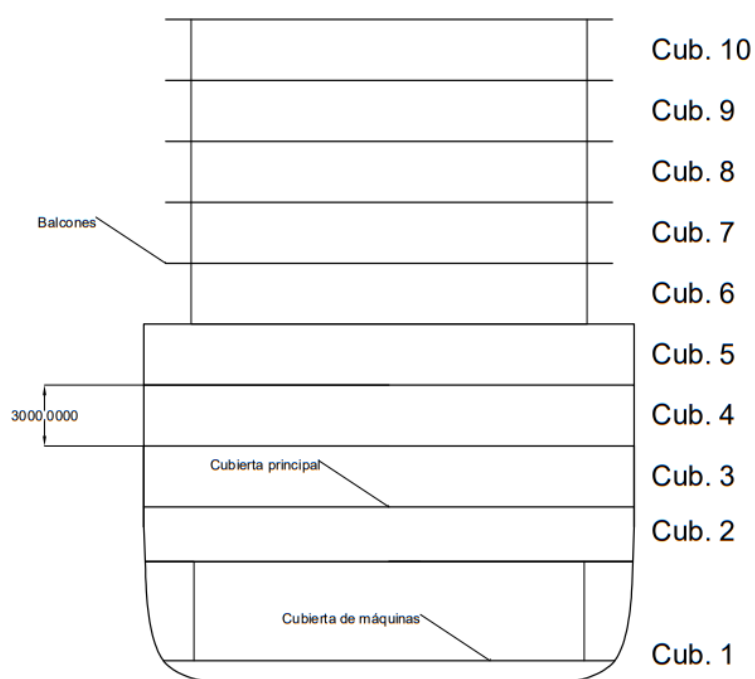


Figura 5: Cuaderna Maestra

10 BIBLIOGRAFÍA

Register of Ships 2009/2010. Lloyd's Register of Shipping.

Significant Ships. Royal Institute of Naval Architects.

2019 CRUISE TRENDS & INDUSTRY OUTLOOK. Cruise Lines International Association.

Proyectos de buques y artefactos. Criterios de evaluación técnica y económica del proyecto de un buque. Prof. Fernando Junco Ocampo.

ANEXO I.I: BUQUE DE REFERENCIA

Hull No.:	LUXURY CRUISE VESSEL	TBN
1705	Shipowner:	Built:
	THE RITZ-CARLTON YACHT	2019
	COLLECTION	




Main Particulars:



Length Overall: 190.00 m
Length between Perpendiculars: 162.00 m
Moulded Breadth: 23.80 m
Depth to Main Deck: 8.00 m
Design Draught: 5.65 m
Maximum Draught: 6.00 m
Accommodation capacity: 560 POB
Deadweight at 5.75 m approx.: 1740 T
Service Speed: 16.00 knots
Range at Service Speed: 8000 miles



Classification:

DNV  1 A1 PASSENGER SHIP, ICE-C, ECO, E0, CLEAN, BWM-T, BIS, COMF-V (1), NAUT-AW, F-M, LCS-DC

Propulsion:

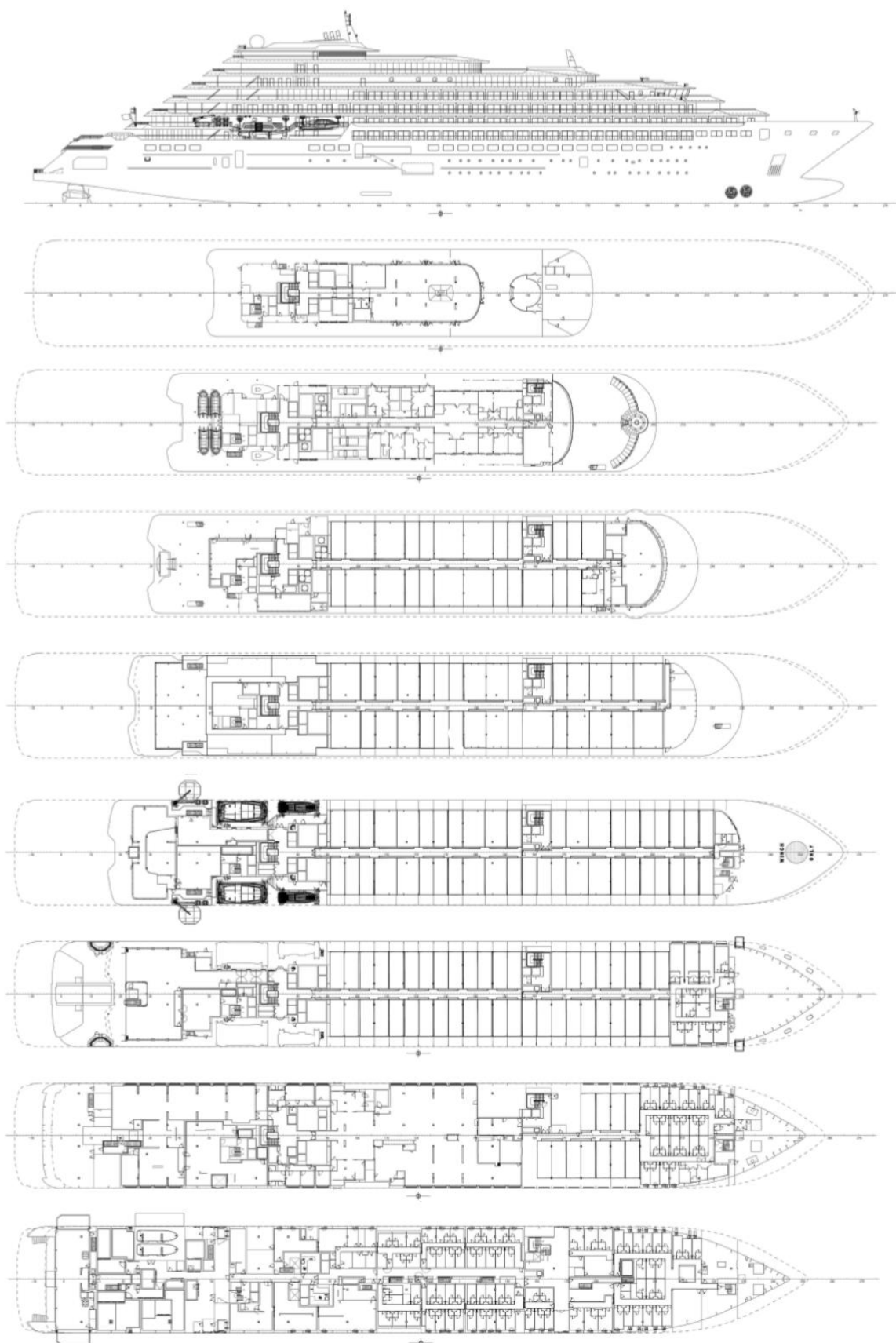
Main Engines: 4 x 3600 kW at 750 rpm
Main Azimuth Propellers: 2 x 4600 kW

Accommodation:

Passenger: 298 pax (2x149 suite cabins)
Penthouse Suite x 2 Superior Suite x 27
Signature Suite x 18 Veranda Suite x 90
Veranda Duplex Suite x 12
Crew: 246 Pax
Captain Cabin x 4 Senior Officer x 11
Crew Single x 65 Crew Double x 83

Tanks Capacity:

Lub. Oil Capacity: 15 m³
Drinking Fresh Water Capacity: 460 m³
Marine Gas Oil: 1200 m³
Ballast Water Capacity: 2450 m³



ANEXO I.II: CÁLCULO DEL FRANCOBORDO

INTERNATIONAL CONVENTION ON LOAD LINES 1966/1988

Moulded Breadth (B)	24.04 m
Least Moulded Depth	8.8 m
85% Least Moulded Depth	7.48 m
Freeboard deck thickness at side	0 mm
Freeboard Depth (D)	8.8 m
Lenght of the waterline at 7.48 m of depth	145 m
Lenght betw. Perp. at 7.48 m of depth	145 m
Freeboard Lenght (L)	145 m
Volume without appendages at 7.48 m of depth	18251.6488 m ³
Block coefficient	0.7
Recess in freeboard deck, side to side, of <i>Upper line of the exposed deck is the freeboard deck</i>	0 m < 1m

R-27 Types of ships Applicable

Type of ship (A,B,Br,B60) **B**

R-28 Tabular Freeboard Applicable

Table	
L	freeboard
145	2209
145	2209

L	freeboard
145	2209

R-28 2209

R-29 Correction for ships under 100 m in lenght Not Applicable

Effective lenght of superstructure (E)	145 m
Lenght of trunks	0 m
Effective lenght of superstructure (E1)	145 m

R-30 Correction for block coefficient Applicable

R-28	2209
R-29	
freeboard	2209

Factor 1.0147

R-30 33

R-31 Correction for depth Applicable

Enclosed superstructure lenght	145 m	>0.6*L
Height of superstructure	2.3 m	
Standard Height	2.3 m	

R	250	Standard Height correction	1
Correction	-217		

R-31 -217

R-32 Correction for position of deck line Not Applicable

R-32

R-32.1 Correction for recess in freeboard deck (not side to side) Not Applicable

Volume of the recess	m ³
Waterplane area at 7.48 m draft	m ²

R-32.1

R-33 Standard height of superstructure (in m) Applicable

Raised quarterdeck	All Other superstructures
1.8	2.3

R-34/35 Effective lenght of superstructure (in m)					Applicable
Superstructure	Lenght (S)	Sup. br. (b)	Ship br. (Bs)	Height	Effective Lenght (E)
Forecastle	145.000	24.040	24.040	6.500	145.000
center					
Poop					

Raised quarterdeck	Lenght (S)	Sup. br. (b)	Ship br. (Bs)	Height	Effective Lenght (E)

[illegible]

R-37 Deduction for superstructures and trunks	Applicable
---	------------

<i>Length of Superstructure</i>	145 m
<i>Length of Trunks</i>	0 m
<i>Effective Length (E)</i>	145 m
<i>Effective Length (E)</i>	1 *L
<i>Deduction for 1L</i>	1070 mm

E	%
1	100
1	100
1	100

R-37 -1070

R-38 Sheer Applicable

Standard Sheer Profile			
Station	Ordinate	Factor	Product
After perpendicular	1458	1	1458
1/6 L from A.P.	648	3	1944
1/3 L from A.P.	163	3	489
Amidships	0	1	0
Amidships	0	1	0
1/3 L from A.P.	327	3	981
1/6 L from A.P.	1295	3	3885
Forward perpendicular	2917	1	2917
			After Sheer 3891
			Forward Sheer 7783

Sheer Profile					
Station	Ordinate	Sum for Le=L	Total	Factor	Product
After perpendicular	0	4200	4200	1	4200
1/6 L from A.P.	0	1865	1865	3	5595
1/3 L from A.P.	0	466	466	3	1398
Amidships	0	0	0	1	0
Amidships	0	0	0	1	0
1/3 L from F.P.	0	466	466	3	1398
1/6 L from F.P.	0	1865	1865	3	5595
Forward perpendicular	0	4200	4200	1	4200
					After Sheer
					Forward Sheer

Forward and After corrections for Sheer be allowed

Corrected After Product Difference 7302
Corrected Forward Product Difference 3410

Sheer credit for poop or forecastle

	Real	Standard	Difference	s
Forecastle	6500	2300	4200	700
Poop	0	2300	-2300	-383

After Sheer variation 529
Forward Sheer variation 1126
Sheer variation 827

Total length of enclosed superstructures (S1) 145.000 m
Extension in midships of superstructures (over L) 1 *L

Factor 0.25 Correction -207 mm
Freeboard correction with superstructure length correction is -207 mm

Freeboard correction -182 mm
Maximum freeboard correction for Sheer is -182 mm

R-38 -182

R-39.1 Minimum bow height Applicable

Waterplane area forward of L/2 at draught d1 (Awf) m2

L	145	d1	7.48
B	24.04	Cb	0.7
		Cwf	0

Minimum bow height (Fb) 12356 mm

Bow depth corrected for R39 8000 mm
Minimum bow height freeboard -7978844 mm
Salt water freeboard 773 mm

R-39.1 0

R-39.2 Reserve of buoyancy Applicable

F0 2209 mm
f1 1.0147
f2 -217 mm
fmin 2025 mm

Minimum projected area 77.88 m2
Actual projected area m2
Freeboard correction mm

R-39.2 0

R-40 Minimum freeboards		Applicable	
Minimum freeboard without R-32		50 mm	
R-28	2209 mm	Freeboard in Salt Water	773 mm
R-29	mm		
R-30	33 mm		
R-31	-217 mm	Minimum Summer Freeboard	773 mm
R-32.1	mm	Maximum Summer Draught	8027 mm
R-37	-1070 mm		
R-38	-182 mm	Maximum Scantling Draught	8800 mm
Sum	773 mm	Maximum Stability Draught	8800 mm
R-39.1	0 mm		
R-39.2	0 mm		
Sum	773 mm		
R-32	0 mm		
		Summer Freeboard	773 mm
		Summer Draught	8027 mm
		Tropical Freeboard	606 mm
		Winter Freeboard	941 mm
		Winter N. Atlantic Freeboard	941 mm
		Fresh Water	749 mm

ANEXO I.III: HOJA DE CÁLCULO

Lucía Barreiro Varela

[illegible]

Lucía Barreiro Varela

[illegible]

Lucía Barreiro Varela

[illegible]



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/21**

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo II

**CUADERNO 2: CÁLCULO DE PESOS Y CENTROS DE
GRAVEDAD DEL PESO EN ROSCA Y DE SUS PARTIDAS
CORRESPONDIENTES**

GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 Cálculo de pesos.....	5
3.1 Pesos de acero	5
3.2 Peso de la maquinaria.....	8
3.3 Peso de los equipos restantes:.....	11
4 Peso en rosca y centro de gravedad	17
5 Peso muerto	20
6 Comprobación	22
Anexo II.I: Catálogos comerciales	23

2 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno procederemos a calcular el peso en rosca del buque, así como la posición de su centro de gravedad. Para ello, llevaremos a cabo un estudio de los pesos del buque que dividiremos en tres partidas: peso del acero, peso de la maquinaria y peso de los equipos restantes.

Para definir y calcular los pesos del buque nos basaremos tanto en la información obtenida en cuadernos posteriores como en la formulación encontrada en la bibliografía para poder calcular aquellos pesos de los cuales no se conoce su valor.

En primer lugar, el cálculo del peso en rosca se basó en el buque de referencia para conseguir una primera estimación de las partidas que lo conforman, pero a medida que se avanza en el anteproyecto se puede hacer una estimación más precisa a partir de la nueva información obtenida: predicción de potencia, disposición general, etc.

Del “Cuaderno 1” se obtuvieron los siguientes parámetros:

$$L_{pp} = 145 \text{ m}$$

$$B = 24 \text{ m}$$

$$D = 8.8 \text{ m}$$

$$T = 6 \text{ m}$$

$$Cb = 0.7$$

Supondremos que el origen de coordenadas se encuentra en la perpendicular de popa a la altura de la quilla. El eje de abscisas se corresponde con el sentido longitudinal del buque y es positivo hacia proa. El eje de ordenadas hace referencia a la manga del buque, siendo positivas a babor y finalmente la altura muestra el puntal del buque y tiene sentido positivo hacia arriba.

3 CÁLCULO DE PESOS

3.1 Pesos de acero

Para calcular el peso de la partida de aceros del buque existen varios métodos. En este cuaderno emplearemos el método de Watson, siguiendo el libro de *Proyecto de Buques y Artefactos. Cálculo del desplazamiento* de Fernando Junco Ocampo:

$$Wst = K * E^{1.36} * (0.65 + 0.5 * Cbp)$$

Siendo,

Wst el peso de acero del buque proyecto,

Cbp el coeficiente de bloque al 80% del puntal, que se obtiene mediante la fórmula:

$$Cbp = Cb + (1 - Cb) * \left(\frac{0.8 * D - T}{3 * T} \right) = 0.7 + (1 - 0.7) * \frac{0.8 * 8.8 - 6}{3 * 6} = 0.717$$

E el numeral de equipo y k es el coeficiente de peso estructural cuyo valor se obtiene del libro mencionado previamente. Para buques de pasaje k tiene un valor medio de 0.038 que será el valor que tomaremos para dicho factor.

El numeral de equipo se calcula mediante la fórmula:

$$E = L * (B + T) + 0.85 * L(D - T) + 0.85 * (ls * hs) + 0.75 * (lc * hc)$$

La manga (B), el calado (T) y el puntal (D) se han obtenido previamente en el “Cuaderno 1”. La eslora empleada para este cálculo será la eslora total. Se considerará superestructura a todas aquellas cubiertas situadas sobre la cubierta principal. El buque proyecto contará con 7 cubiertas por encima de la cubierta principal situada a D=8.8 m donde irá ubicada la habitación. La altura entre cubiertas se supondrá de 3 metros.

Para obtener unos datos más realistas en el cálculo del peso del acero, así como de su centro de gravedad dividiremos el buque en dos bloques. El primer bloque constituido por todo el casco del buque y las primeras cubiertas de la superestructura la cubierta cinco y la parte de la superestructura situada sobre la cubierta. Por tanto, para la parte inferior:

$$E = 150 * (24 + 6) + 0.85 * 150 (14.8 - 6) = 5622$$

Ahora ya se conocen todos los valores para calcular el peso de aceros de la parte inferior de nuestro buque y obtenemos un valor:

$$Wst = 0.038 * 5622^{1.36} * (0.65 + 0.5 * 0.717) = 5257.87 t$$

Si calculamos la parte de la superestructura a partir de la cuaderna 5:

$$E = 0.85 * (ls * hs) + 0.75 * (lc * hc)$$

En la formula ls y hs son la eslora y altura de las superestructuras que se obtendrán del plano longitudinal preliminar del buque que se muestra más adelante. Como se puede apreciar la superestructura tiene una eslora ls diferente en función de la altura de la cubierta por lo que es necesario dividir este factor en diferentes tramos:

$$h2=h3=h4=h5=h6=h7=3m \text{ (altura entre cubiertas de 3)}$$

$$l2= 154.5 m$$

$$l3=140.8 m$$

$$l4=117.6 m$$

$$l5=106.4 m$$

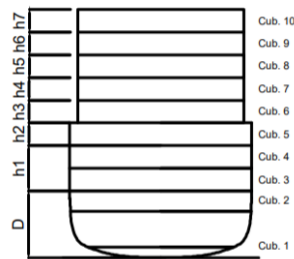
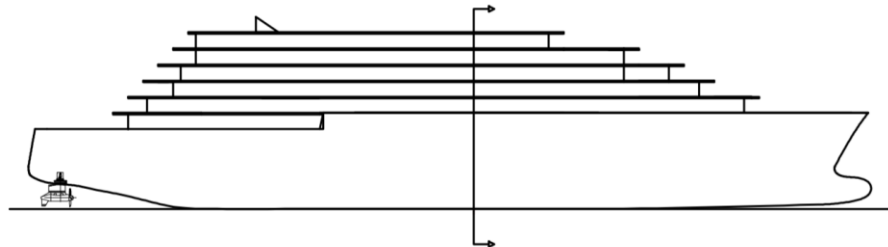
$$l_6 = 98 \text{ m}$$

$$l_7 = 86.8 \text{ m (medidas sobre el plano)}$$

l_c y h_c la eslora y altura de las casetas (en nuestro caso no hay casetas).

Resultando,

$$E = 0.85 * (154.5 * 3 + 140.8 * 3 + 117.6 * 3 + 106.4 * 3 + 98 * 3 + 86.8 * 3) = 1795.455$$



Si ahora calculamos el peso de los aceros de esta parte:

$$W_{st} = 0.038 * 1749.555^{1.36} * (0.65 + 0.5 * 0.717) = 1100.72 \text{ t}$$

Por lo que el peso total del acero resulta:

$$W_{st} = 5257.87 + 1100.72 = 6358.6 \text{ t}$$

Finalmente nos queda conocer la posición del centro de gravedad. Para estimarla, J.L. García Baldés nos proporciona unas fórmulas para buques de carga general (polivalentes):

$$W_{st} = 0.0294 * L^{1.5} * B * D^{0.5} = 3654.7015 \text{ t}$$

$$Z_{ST} = 1.019 * D^{0.81790} = 6.035 \text{ m}$$

$$X_{ST} = 0.447 * L + 0.614 = 65.429 \text{ m}$$

Como podemos apreciar el peso del acero estructural empleando las fórmulas de J.L. García Barcés es menor. Esto ocurre porque en esta fórmula solo tenemos en cuenta el puntal hasta la cubierta principal y se desprecia la superestructura que en este caso supone un peso de gran importancia, por lo que no podemos dar estas fórmulas como válidas. Si en lugar de considerar la altura de la cubierta principal se considera la altura hasta la cubierta más alta:

$$Z_{ST} = 1.019 * 32.8^{0.81790} = 17.7 \text{ m}$$

El libro también nos proporciona otra fórmula para conocer la coordenada Z del centro de gravedad de la estructura considerando la corrección por bulbo de proa:

$$Z_{ST} = 0.01 * D * \left(46.6 + 0.135 * (0.81 - CB) * \frac{L^2}{D^2} \right) + \left(\frac{L}{B} - 6.5 \right) * 0.008 * D - 0.002 * D$$

$$ZST = 0.01 * 8.8 * \left(46,6 + 0.135 * (0.81 - 0.7) * \frac{145^2}{8.8^2} \right) + \left(\frac{145}{24} - 6.5 \right) * 0.008 * 8.8 - 0.002 * D$$

$$= 4.40$$

Y si consideramos la altura hasta la cubierta superior:

$$ZST = 0.01 * 32.8 * \left(46,6 + 0.135 * (0.81 - 0.7) * \frac{145^2}{82.8^2} \right) + \left(\frac{145}{24} - 6.5 \right) * 0.008 * 32.8 - 0.002 * D = 15.19 \text{ m}$$

Como se puede comprobar la superestructura provoca un notorio aumento de la coordenada Z del c.d.g. de la estructura. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la superestructura no ocupa toda la eslora del buque lo que provocará un descenso de la altura del centro de gravedad calculada. Por lo que se procederá de la siguiente manera para calcular la altura del c.d.g.:

1. Se calculará el centro de gravedad de la estructura del casco hasta la cubierta 5 (primera cubierta a la intemperie) mediante la fórmula previamente descrita.

$$ZST_{casco} = 0.01 * 14.8 * \left(46,6 + 0.135 * (0.81 - 0.7) * \frac{145^2}{14.8^2} \right) + \left(\frac{145}{24} - 6.5 \right) * 0.008 * 14.8 - 0.002 * 14.8 = 7.02$$

Se calculará por separado el centro de gravedad de la estructura (desde la cubierta 5 a la 10). Esto se llevará a cabo con la ayuda del programa AutoCAD a partir de la vista longitudinal de la superestructura, al disponer todas las cubiertas superiores de la misma manga.

Se

obtiene:

$$ZST_{superestructura} = 22.62 \text{ m}$$

2. Se calculará el centro de gravedad del conjunto del casco y superestructura considerando el aporte de peso de cada una de las partes.

$$ZST = \frac{5257.87 * 7.02 + 1100.72 * 22.62}{5257.87 + 1062.356} = 9.72 \text{ m}$$

Finalmente, el peso del acero empleado será el calculado mediante el método de Watson por ser el que incluye todo el peso del acero, tanto del casco como de la superestructura. La coordenada longitudinal del centro de gravedad será la calculada mediante la fórmula proporcionada por J.L. García Barcés con la que se obtiene un resultado muy similar a la estimación $XST = 0.45 * L = 65.25 \text{ m}$ y la coordenada vertical será la que se acaba de describir.

Por tanto, los valores resultantes del peso del acero y su centro de gravedad son:

$$Wst = 6358.6 \text{ t}$$

$$ZST = 9.72 \text{ m}$$

$$XST = 65.43 \text{ m}$$

Además, a parte del peso del acero calculado a partir del método de Watson $Wst = 5808.85 \text{ t}$ tenemos que calcular otros pesos que se incluyen en esta partida pero que no se incluyen en el método empleado.

Peso de la amurada:

El peso de la amurada se calcula siguiendo la siguiente fórmula establecida en el programa del cálculo de pesos de LINDENAU-HOLLENBACH:

$$Pb = (6 - 0.0021875 * L^2 + 1.125 * L) * \frac{lb}{1000}$$

Siendo l_b la longitud de la amurada que la tomaremos como la eslora total a la altura de la cubierta 6 de 150 metros y L la eslora entre perpendiculares.

$$P_b = 18.47 \text{ t}$$

Cuyo centro de gravedad irá situado entre la cubierta 5 y 6 en el centro de la línea de flotación.

$$Z_{ST} = 16.3 \text{ m}$$

$$Z_{ST} = 72.8 \text{ m}$$

Tecles de cámara de máquinas:

$$PTM = 0.047 * l_m * B * 0.60$$

Donde l_m es la eslora de la cámara de máquinas cuyo valor hemos estimado en 28 metros (existen dos cámaras de máquinas de 14 m cada una) en función de la longitud de los cuatro motores principales y de la separación entre cuadernas y bulárcamas.

$$PTM = 0.047 * 28 * 24 * 0.60 = 18.95 \text{ t}$$

El centro de gravedad lo ubicaremos en el centro de la cámara de máquinas.

$$X_{PTM} = 42 \text{ m}$$

$$Z_{PTM} = 3.75 \text{ m}$$

Tanques no estructurales en la cámara de máquinas:

$$P_{tv} = a + b * MCR(kW)$$

Donde a y b son coeficientes que dependen de valor de MCR. En el libro mencionado aparecen, para nuestro caso, los siguientes valores: $a=1.2$ y $b=0.0009$.

$$P_{tv} = 1.2 + 0.0009 * 14400 = 14.16 \text{ t}$$

El centro de gravedad que consideraremos será el mismo que el de los tecles.

3.2 Peso de la maquinaria

Grupos generadores principales:

En una fase preliminar el peso total de la maquinaria puede estimarse a partir de las siguientes expresiones:

$$PQ = 0.075 * MCR(kW) + 300 \text{ t}$$

Como la propulsión es diésel eléctrica el valor resultante del peso total de la maquinaria debe incrementarse entre un 5% y un 12%.

En este caso para estimar el peso de la maquinaria tomaremos MCR como la potencia aportada por los cuatro generadores diésel principales que es igual a 3600kW/motor. Se considera un incremento del 10% por tratarse de propulsión diésel eléctrica.

Por tanto, para cada motor:

$$PQ = 0.075 * 3600 + 300 = 570 \frac{\text{t}}{\text{motor}}$$

$$PQ = \left(\frac{570 \text{ t}}{\text{motor}} * 4 \text{ motores} \right) * 1.1 = 2508 \text{ t}$$

Existe otro procedimiento publicado por el Lloyd's Register que nos permite estimar el peso de la maquinaria principal del buque a partir de coeficientes e índices de regresión. Este

método divide el peso de la maquinaria principal en dos grupos, motor principal y maquinaria propulsora restante, como se resume a continuación:

$$\text{- Peso del motor } QP = a * \left(\frac{BHP(HP)}{rpm} \right)^b t$$

$$\text{- Peso restante de la maquinaria propulsora } RP = C * BHP(HP)^d t$$

Donde a, b, c y d son coeficientes de índices de regresión obtenidos en el libro de Fernando Junco, BHP es la potencia de freno, rpm las revoluciones por minuto del motor. Teniendo en cuenta el motor del buque base, que se trata de un motor semirápido de 750 rpm los valores de los coeficientes son los siguientes:

$$a = 9.38$$

$$b = 0.84$$

$$c = 0.59$$

$$d = 0.70$$

Tomaremos BHP para el peso del motor como la potencia proporcionada por cada motor es decir 3600 kW pero este valor hay que multiplicarlo por 1.341 para pasarlo a la unidad de caballos de vapor. Por tanto,

$$QP = 9.38 * \left(\frac{3600 * 1.341}{750} \right)^{0.84} = 44.85 \frac{t}{\text{motor}}$$

$$QP = 44.85 \frac{t}{\text{motor}} * 4 \text{ motores} = 179.4 t$$

Sin embargo, una vez conocido el grupo generador seleccionado se puede conocer el valor real de su peso. Según el catálogo de MAN el peso de cada uno de los grupos generadores del modelo MAN L32/44CR de 6 cilindros es de 71 t/motor.

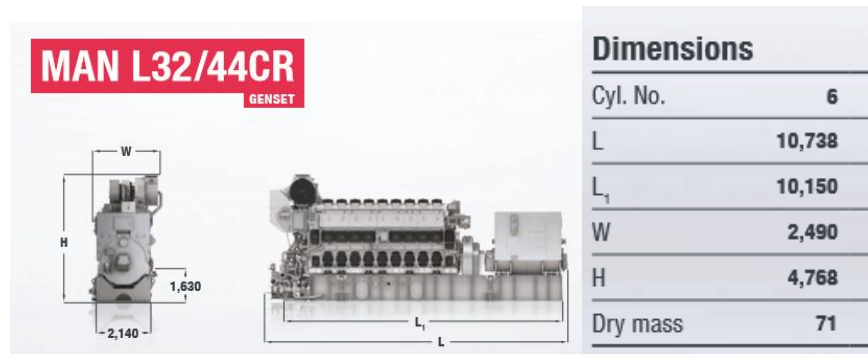


Figura 1: Grupo generador MAN L32/44CR

Según el Lloyd's Register, el peso restante de la maquinaria propulsora resultará:

$$RP = 0.59 * (3600 * 4 * 1.341)^{0.7} = 590 t.$$

Por lo que el peso total de los grupos generadores es de 284 t y si le sumamos el peso restante de la maquinaria propulsora obtenemos:

$$PQ = 284 + 590 = 874 t$$

Sin embargo, como se trata de propulsión diésel eléctrica, este método no es el más indicado dado que la configuración del sistema de propulsión varía. Para este caso, el libro del profesor Fernando Junco Ocampo propone la siguiente fórmula que engloba a todos los equipos:

$$W_M = 0.72 * (MCR)^{0.78}$$

Con MCR en kW, suma de todas las potencias de los grupos diésel generadores, es decir MCR= 3600*4=14400 kW. Finalmente obtenemos que el peso total de la maquinaria equivale a:

$$W_M = 0.72 * 14400^{0.78} = 1261.4 \text{ t}$$

Y su centro de gravedad irá situado a una altura de 2.384 sobre la cubierta 1, es decir, a 3.784m sobre la línea base y entre las dos cámaras de máquinas:

$$XPQ = 42 \text{ m}$$

$$ZPQ = 3.784 \text{ m}$$

Hélices:

Obtenemos del catálogo de ABB la siguiente tabla:

Figure	CO0980	CO1250	CO1400
D1 [mm] Outer diameter of the motor	1039	1310	1470
D2 [mm] Propeller diameter (min. – max.)	1900 – 2600	2400 – 3500	2700 – 4000
D3 [mm] Connection flange outer diameter	2300	2780	2780
L3 [mm] Length of the Propulsion Module	4800	5730	6200
H1 [mm] Height from motor shaft line to the ship bottom	1950	2710	3090
H2 [mm] Height of slewing bearing assembly to the connection flange lower surface	495	650	650
H3 [mm] Height from connection flange lower surface to the top of the steering module	1980	1980	1980
H4 [mm] Maintenance area	2300	2300	2300
L4 back [mm] Maintenance area	1400	1700	1700
L4 front [mm] Maintenance area	2100	2250	2250
W [mm] Maintenance area	4000	4000	4000
M1 [ton] Total weight of complete Azipod	27	49	60

Figura 2: Información propulsor AziPod ABB

De donde obtenemos que el peso de cada propulsor es de 60 t por tanto el peso de las 2 hélices es de 120 toneladas cuyo centro de gravedad se sitúa, midiendo en el plano del buque de referencia en:

$$XPH = 0 \text{ m}$$

$$ZPH = 4 \text{ m}$$

Este peso ya incluye en peso de todo el equipo que conforma el sistema de las hélices azimutales por tanto no necesitamos calcular a parte el peso de la reductora o del generador eléctrico.

Peso de la instalación eléctrica:

Como la eslora es mayor que 60 metros utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Pie = lc + \frac{Pm}{1000}$$

Con lc la longitud de los cables y Pm la potencia de los motores propulsores. En el libro de *Proyecto de Buques y Artefactos. Cálculo del desplazamiento* de Fernando Junco Ocampo se indican diferentes fórmulas para calcular lc en función del tipo de buque. Como no aparece la fórmula para buques de pasaje tomaremos la fórmula para buques RO-RO que es el tipo de buque más similar de los descritos:

$$l_c = 9.82 + 0.268 * L + 0.000597 * L^2 = 61.2 \text{ km}$$

Por tanto,

$$Pie = 61.2 + \frac{16032}{1000} = 77.3 \text{ t}$$

Lo situaremos en la sección media a la altura de la cubierta principal.

$$XPie = 72.5 \text{ m}$$

$$ZPie = 8.8 \text{ m}$$

3.3 Peso de los equipos restantes:

Peso de la pintura:

El peso de la pintura viene dado por la fórmula:

$$Pi = k * PS$$

Donde PS es el peso del acero calculado previamente (Ps=5925.12 t) y k un coeficiente que se obtiene interpolando:

Si PS=2000 t, k=0.008

Si Ps=12000 t, k=0.006

Entonces,

$$K=0.007$$

$$Pi = 41.47 \text{ t}$$

Cuyo centro de gravedad lo ubicaremos en la sección media y a la altura de la cubierta cinco debido a que la superestructura alcanza una altura máxima de 32.8 m pero las últimas cubiertas no ocupan toda la eslora del barco, es decir:

$$ZPi = 14.8 \text{ m}$$

$$XPi = 72.5 \text{ m}$$

Hélice de proa:

Del catálogo de Kongsberg obtenemos el peso de la hélice de proa:

Thruster type	Dim. mm			Weight kg		Performance			
	Prop. Dia.	Tunnel Dia.	Thruster Dia.	Connection & mounts	Total dry weight	Power MCR kW	Max. thrust kN	Prop. type	Hull mount
TT PM 1600	1600	2180	7250	1957	11730	1000	146	Mono FP	8 x rubber bushings
TT PM 2000	2000	2600	12217	2540	18318	1600	229	Mono FP	8 x rubber bushings

All data subject to change without prior notice.

Figura 3: Información técnica hélice de proa.

$$PHP = 18.31 * 2 = 36.62 \text{ t}$$

$$XHP = 130.2 \text{ m}$$

$$ZHP = 2 \text{ m}$$

Estabilizadores:

El buque contará con dos estabilizadores, cada uno situado a una banda del buque e instalados en los locales de estabilizadores con un centro de gravedad de 84 metros desde la perpendicular de popa y a la altura del calado (6m). El peso de cada uno de los estabilizadores es de 20.8 t.

Technical data

Model	Max. Fin Area (m ²)	Maximum dimensions (m)				Weight (kg)
		A	B	C	D	
A25	1.06 - 2.05	2.44	3.77	4.37	3.14	9700 - 10800
A50	1.82 - 3.51	3.19	4.94	5.54	4.66	19300 - 20800
A100	4.21 - 5.78	3.99	6.18	6.78	5.00	35500 - 40200

Figura 4: Información técnica estabilizador

Peso de la protección catódica:

El peso de la protección catódica del casco (incluido hélice) por ánodos de sacrificio es:

$$P_{cc} = 0.0004 * S_m * a * y$$

Como desconocemos el tipo de ánodos y el número de daños, por recomendación del libro, emplearemos $a=1$ e $y=2$ años, quedando, por tanto:

$$P_{cc} = 0.0008 * S_m$$

La superficie mojada del casco se verá más adelante en el cuaderno 3 ($S_m=4385m^2$). El resultado final es:

$$P_{cc} = 0.0008 * 1617.475 = 3.5 \text{ t}$$

El centro de gravedad de la protección catódica irá situado en la cuaderna 150 a una altura igual a la mitad del calado.

$$Z_{Pi} = 3 \text{ m}$$

$$X_{Pi} = 105 \text{ m}$$

Peso del equipo de amarre y fondeo:

Para conocer el peso de los equipos de amarre y fondeo, lo primero que necesitamos es calcular el numeral de equipo, EN, cuya fórmula es la siguiente:

$$EN = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 * B * H + 0.1 * A$$

Siendo A el área lateral del buque por encima de la línea de francobordo de verano y h la altura en metros desde el calado de verano a la cubierta más alta que se mide de la siguiente forma:

$$H = a + \sum h_i = 32.8 - 6.15 = 26.65 \text{ m}$$

A lo medimos con la ayuda del plano de la disposición general y el software AutoCad y obtenemos un valor de $A=3108 \text{ m}^2$. El valor final del numeral de equipo es, por tanto:

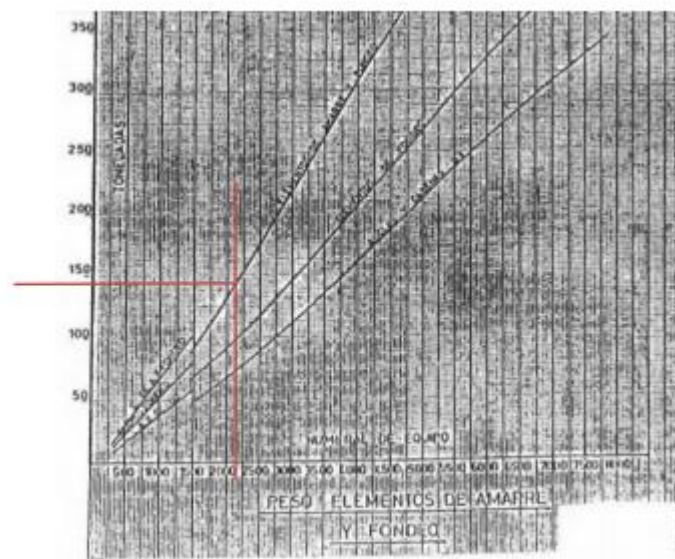
$$EN = 2222$$

Del DNV obtenemos la siguiente tabla:

Equipment number	Equipment letter	Stockless bower anchors		Stud-link chain cables			Towline (guidance)		Mooring lines ¹⁾²⁾⁴⁾ (guidance)		
		Number	Mass per anchor kg	Total length	Diameter and steel grade			Steel or fibre ropes		Steel or fibre ropes	
				m	VL K1 mm	VL K2 mm	VL K3 mm	Minimum length m	Minimum breaking strength kN	Number	Length of each m
2080 to 2229	H	2	6450	605	81	70	62	240	1259		

Aquí podemos ver como para nuestro buque necesitamos 2 anclas de 6450kg cada una.

Entrando con el numeral de equipo en las gráficas presentes en el Libro de Fernando Juncó obtenemos el peso del resto del sistema de amarre y fondeo:



De la gráfica obtenemos que el peso del sistema de amarre y fondeo es de 160 toneladas. Por tanto, la suma de este peso más el peso de las anclas nos da un valor final de:

$$Payf = 140 + 2 * 6.45 = 152.9 t$$

Cuyo centro de gravedad situaremos a la proa del buque a 136 metros de la perpendicular de popa y a la altura de la cubierta 2, es decir a 11.8 metros, donde irá ubicado el sistema de amarre y fondeo.

Peso del equipo de navegación:

Este peso será estimado en 2t por recomendación de la bibliografía, las cuales ubicaremos en el puente de mando en la cubierta 8. Es decir:

$$ZPi = 23.8 m$$

$$XPi = 112.7 m$$

Peso de los equipos de salvamento y contraincendios:

En primer lugar, calcularemos el peso de los equipos de salvamento, PL.

$$PL = 9.5 + (n - 35) * 0.1$$

Donde n es el número de personas total a bordo, es decir, la suma del número de pasajeros y el número de la tripulación.

$$PL = 9.5 + (90 + 360 - 35) * 0.1 = 51 \text{ t}$$

El centro de gravedad de esta partida lo situaremos a la altura de la cubierta cuatro en la zona destinada a los botes y balsas salvavidas

$$ZPi = 17.8 \text{ m}$$

$$XPi = 49 \text{ m}$$

Una vez conocido el peso del equipo de salvamento calculamos el peso del equipo contraincendios, PI.

$$PI = 0.0025 * VE + 1 \text{ t}$$

Siendo VE el volumen de la Cámara de Máquinas, el cual se puede estimar mediante la fórmula:

$$VE = 0.5 * LM * B * D$$

LM es la eslora de la Cámara de Máquinas cuyo valor tomaremos como 28 metros, resultando:

$$VE = 3449.6 \text{ m}^3$$

$$PI = 9.62 \text{ t}$$

Cuyo centro de gravedad será el centro de la cámara de máquinas:

$$XPI = 44 \text{ m}$$

$$ZPI = 4 \text{ m}$$

Peso de la habilitación:

En una primera estimación calcularemos el peso de la habilitación utilizando la siguiente fórmula:

$$PA = 0.16 * AA \text{ (TM)}$$

Donde AA es el área de alojamientos y tendremos en cuenta las cubiertas 3,4, 5, 6, 7, 8 y 9.

Para calcular AA tendremos en cuenta que la cubierta 3 tiene una manga de 24 metros y una eslora de 145 metros y para el resto de cubierta tomaremos l=110 metros y b=21m. Por tanto:

$$AA = 24 * 145 + 5 * 21 * 110 = 15010 \text{ m}^2$$

$$PA = 0.16 * 15010 = 2404.8 \text{ t}$$

Sin embargo, una vez conocida la distribución general se puede llevar a cabo un desglose más específico de los pesos de habilitación:

- Camarote de oficiales	135 kg/m ²
- Camarote de tripulación	160 kg/m ²
- Comedores y salones	120 kg/m ²
- Pasillos (sin mamparos, incluidos en camarotes)	80 kg/m ²
- Aseo individual	250 kg/m ²
- Aseo público	200 kg/m ²
- Cocina	200 kg/m ²
- Oficio	200 kg/m ²
- Gambuza seca y paños	60 kg/m ²
- Lavadero y secadero	150 kg/m ²
- Gambuza frigorífica (95 kg/m ³)	190 kg/m ²

Midiendo sobre la disposición general obtenemos los siguientes resultados orientativos:

Local	Sup. (m ²)	Cantidad	Superficie total (m ²)	Peso (kg/m ²)	Peso total (t)
Camarotes tripulación	10	40	400	160	64
Camarote Capitán, J.M. y 1er oficial	43	3	129	135	17,415
Camarotes oficiales	20,8	8	166,4	135	22,464
camarotes pasaje pequeños	23,1	94	2171,4	135	293,139
Camarotes pasaje grandes	37	80	2960	135	399,6
Suites	56	6	336	135	45,36
Cocina grande	230	1	230	200	46
Cocina pequeña	52	1	52	200	10,4
Aseos individuales tripulación	3,08	48	147,84	250	36,96
Aseos Capitán, J.M. y 1er oficial	6,01	3	18,03	250	4,5075
Aseos individuales camarotes pequeños	5,04	94	473,76	250	118,44
Aseos individuales camarotes grandes	7,8	80	624	250	156
Aseos individuales Suites	13,6	6	81,6	250	20,4
Aseos público	14	10	140	200	28
Pasillos	350	9	3150	80	252
Salas de estar tripulación	123	1	123	120	14,76
Sala de estar oficiales	82	1	82	120	9,84
Comedor tripulación	145	1	145	120	17,4
Comedor oficiales	63	1	63	120	7,56
Restaurante buffet	430	1	430	120	51,6
Salones	98	6	588	120	70,56
Restaurante cocina de autor	121	1	121	120	14,52
Lavandería	136	1	136	150	20,4
Gimnasio	212	1	212	150	31,8
Vestuarios	24	2	48	200	9,6
Bar	188	2	376	120	45,12
Casino	118	1	118	120	14,16
Terrazas	798	1	798	120	95,76
Discoteca	215	1	215	120	25,8
Gambuzas frigoríficas	141,6	1	141,6	190	26,904
Paños habilitación	21	5	105	60	6,3
Paños bares/restaurantes	21	4	84	60	5,04
			14865,63		1981,8095

Tabla 1: Peso habilitación

Lo que equivale a un peso total de 1982 t cuyo centro de gravedad irá ubicado en el centro de la habilitación, es decir a la altura de la cuaderna 118 es decir a 82.6 metros desde la perpendicular de popa.

Peso del aire acondicionado:

El aire acondicionado al igual que los otros elementos se calcula mediante la formulación encontrada en el libro de Proyecto de Buques y Artefactos. Cálculo del desplazamiento de Fernando Junco Ocampo:

$$Paa = 0.020 * Sh$$

Teniendo en cuenta que Sh será la zona total de habilitación que tomaremos coincidente con el valor de AA, el peso total del aire acondicionado ubicado en el centro de la zona de habilitación será:

$$Paa = 297.32 \text{ t}$$

Y el centro de gravedad coincidirá con el centro de gravedad de la habitación.

Tuberías y bombas de casco:

$$Ttbc = 0.0047 * L * \sqrt{L * B} = 40.2 \text{ t}$$

El centro de gravedad de las tuberías y bombas de casco las ubicaremos en la sección media a la altura del calado.

Equipo de a chimenea:

$$Pef = 0.0034 * L * B = 11.83 \text{ t}$$

El equipo de la chimenea irá colocado sobre la cámara de máquinas y su centro de gravedad se ubicará a la mitad de la altura total del buque, es decir, a 16.4 metros.

Instalación contraincendios en cámara de máquinas:

El sistema contraincendios de la cámara de máquinas lo calcularemos a parte del sistema de la parte de habilitación. Para calcularlo:

$$Pim = 0.125 * (0.0046 * Pm + 0.0088 * L * B)$$

En donde Pm es la potencia de los motores. Por tanto, el peso de esta instalación, cuyo centro de gravedad irá ubicado en el centro de la cámara de máquinas es:

$$Pim = 13 \text{ t}$$

Tuberías y bombas cámara de máquinas:

Para calcular el peso de las tuberías y las bombas necesarias en la cámara de máquinas utilizamos la fórmula:

$$Ptbm = 0.00981 * Pm = 153.3 \text{ t}$$

Generador de agua dulce:

Se instalarán dos unidades de generación de agua dulce de 875 kg cada una. Estos generadores irán colocados en la cubierta 1 a 66.5 metros de la perpendicular de popa.

Planta de tratamiento de aguas residuales:

La planta de tratamiento de aguas residuales tiene un peso de 1900 kg vacía e irá ubicada sobre la cubierta 1 a 89.6 metros de la perpendicular de popa.

4 PESO EN ROSCA Y CENTRO DE GRAVEDAD

Una vez calculados todas las partidas que conforman el peso en rosca del buque, podemos hallar el peso en rosca, así como el centro de gravedad. A continuación, se muestran las tablas con los resultados:

Peso Aceros	Peso (t)	XG (m)	Mom. X (t*m)	KG (m)	Mom. Z (t*m)
Acero estructural	6.359	65,43	416043,198	9,72	61805,592
Amurada	18,47	72,8	1344,616	16,3	301,061
Tecles C.M.	18,95	42	795,9	3,75	71,0625
Tanques no estructurales	14,16	42	594,72	3,75	53,1
	6410,18	65,3302144	418778,434	9,70812294	62230,8155

Peso Maquinaria	Peso (t)	XG (m)	Mom. X (t*m)	KG (m)	Mom. Z (t*m)
Maquinaria	1261,4	42	52978,8	3,784	4773,1376
Hélices	120	0	0	4	480
Instalación eléctrica	77,3	72,5	5604,25	8,8	680,24
	1458,7	40,1611366	58583,05	4,06757908	5933,3776

Peso Equipos Restantes	Peso (t)	XG (m)	Mom. X (t*m)	KG (m)	Mom. Z (t*m)
Pintura	41,47	75	3110,25	14,8	613,756
Protección catódica	1,294	72,4	93,6856	3,025	3,91435
Amarre y fondeo	152,9	136	20794,4	11,8	1804,22
Equipo de navegación	2	112,8	225,6	23,8	47,6
Equipo salvamento	51	49	2499	17,8	907,8
Equipo contraincendios	9,62	72,5	697,45	17,8	171,236
Habilitación	2208	82,6	182380,8	17,8	39302,4
Aire acondicionado	297,32	82,6	24558,632	17,8	5292,296
Tuberías y bombas casco	40,2	72,5	2914,5	6	241,2
Chimenea	11,83	35	414,05	16,4	194,012
Contraincendios C.M.	13	35	455	3,784	49,192
Tuberías y bombas C.M.	153,3	35	5365,5	4	613,2
Hélices de proa	36,62	130,2	4767,924	2	73,24
Estabilizadores	41,6	84	3494,4	6	249,6
Generador de agua dulce	2	66,5	133	2	4
Planta de TAR	2	89,6	179,2	2	4
	3064,154	82,2685125	252083,3916	16,1779292	49571,66635

PESO EN ROSCA	Peso (t)	XG (m)	Mom. X (t*m)	KG (m)	Mom. Z (t*m)
Peso Aceros	6410,18	65,3302144	418778,434	9,70812294	62230,8155
Peso Maquinaria	1458,7	40,1611366	58583,05	4,06757908	5933,3776
Peso Equipos Restantes	3064,154	82,2685125	252083,3916	16,1779292	49571,66635
Margen (+10%)	1093,3034	1,5	0	0,5	0
	12026,3374	62,1539507	729444,8756	10,2898351	117735,8595

Tabla 2: Resultados partidas pesos

Como podemos observar se ha añadido un margen del 10% del peso en rosca para compensar la posible inexactitud en la estimación de las partidas, así como la omisión de algunas otras. Además, se sumará un 1.5 metros horizontal y 0.5 metros vertical a la posición del centro de gravedad.

Por tanto, el peso en rosca total del buque será de 12026 toneladas y el centro de gravedad estará ubicado a 62.15 metros de la perpendicular de popa ubicada en el eje vertical de la hélice azimutal y a una altura de 10.29 m sobre la línea base.

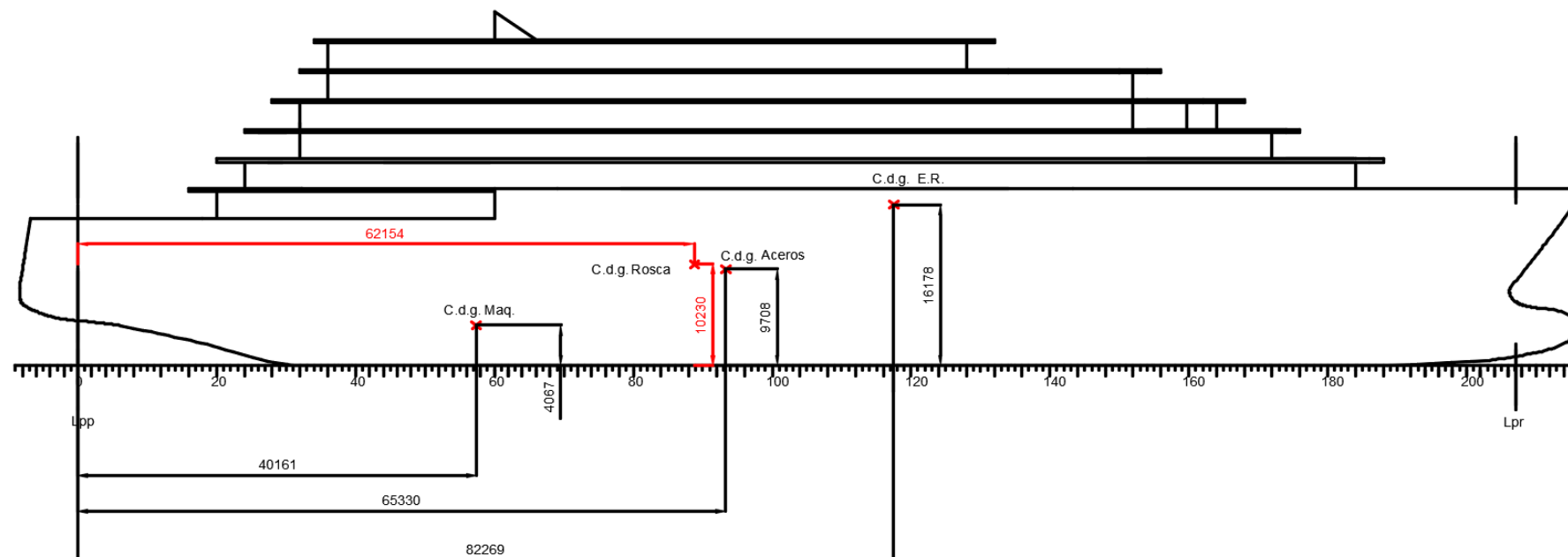


Figura 5: Centro de gravedad.

5 PESO MUERTO

Para poder comprobar si los resultados obtenidos del peso en rosca son válidos vamos a calcular también el peso muerto de nuestro buque que está formado por las siguientes partidas: tripulación y pasaje, consumos y pertrechos. Se calculará siguiendo el libro de Proyecto de Buques y Artefactos. Cálculo del desplazamiento de Fernando Junco Ocampo.

El peso muerto está formado por las siguientes partidas:

- Tripulación y pasaje:

En el libro se establecen los siguientes pesos a considerar: 125 kg/persona para la tripulación y 200kg por persona para el pasaje. Por tanto:

$$\text{Tripulación: } 125 * 90 = 11.5 \text{ t}$$

$$\text{Pasaje: } 360 * 200 = 72 \text{ t}$$

$$\text{Total} = 11.5 + 72 = 83.5 \text{ t}$$

- Pertrechos:

El valor del peso correspondiente a los pertrechos se encuentra en un rango de variación entre 10 y 100 toneladas según el tamaño del buque y el estándar del armador. En función del tamaño de nuestro crucero tomaremos el peso de los pertrechos igual a 30 t.

- Consumos:

Los podemos dividir en combustible, aceite, agua y víveres.

El peso de víveres y de agua se estiman con ratios de cantidad por persona. Para ello tendremos en cuenta una autonomía de 5 días y un margen de un 10%.

$$P_{\text{víveres}} = \frac{15\text{kg}}{\text{pers} * \text{día}} * 450 \text{ pers} * 5 \text{ días} * 1.1 = 37 \text{ t}$$

$$P_{\text{agua}} = \frac{315\text{L}}{\text{pers} * \text{día}} * 450 \text{ pers} * 5 \text{ días} * 1.1 = 780 \text{ t}$$

El peso de los consumos de la maquinaria depende de varios factores. Estimaremos el consumo específico de nuestros motores en 172 g/kWh. Este valor ha sido seleccionado en función de información recogida de los fabricantes de motores navales (ver en Anexos). Teniendo en cuenta una velocidad de 16 nudos y una autonomía de 6000 millas, indicadas en la RPA, y una estancia en puerto de 4 días, además de un consumo de lubricante del 3% la potencia de los motores, el peso de los consumibles resulta:

$$\begin{aligned} P_{\text{consumos}} &= \left(\frac{\text{Autonomía}}{v_{\text{servicio}}} + h_{\text{puerto}} \right) * \text{Consumo} * \text{Potencia} * \%Lub \\ &= \left(\frac{6000}{16} + 24 * 4 \right) * 172 * 14400 * 1.03 + 10^{-6} = 1201 \text{ t} \end{aligned}$$

-Piscinas:

Como se verá en la disposición general, el buque dispondrá de varias piscinas para el entretenimiento del pasaje. Antes de conocer las dimensiones exactas de las zonas de baño, pero con el fin de poder estimar en este punto el peso muerto del buque proyecto, se estimará un peso total del agua de las piscinas de 100 t.

El peso muerto total resulta:

$$P_{muerto} = 1201 + 780 + 37 + 30 + 83.5 + 100 = 2231.5 \text{ t}$$

Más adelante en el estudio de estabilidad descrito en el “Cuaderno 5” se verá un desglose más específico de todos los pesos y su ubicación.

6 COMPROBACIÓN

El desplazamiento de nuestro buque se calcula, entonces, de la siguiente manera:

$$\Delta = PM + PR = 2231.5 + 12026 = 14257.5 \text{ t}$$

Como podemos ver, este valor es inferior al que habíamos calculado previamente en el cuaderno 1 a través de las dimensiones del crucero que nos daba un desplazamiento igual a 14981.4 t. Si comparamos estos valores con los datos que conocemos del buque de referencia (peso muerto de 1740 t) podemos ver que el peso muerto calculado para el buque proyecto sí que se encuentra en el mismo rango de valores pese a ser superior. Esto puede ser debido a que el número de pasajeros en el buque proyecto es superior al del buque de referencia y por tanto se requieren más agua y víveres.

En caso de navegar solo con los pesos calculados el calado inicial sería menor al estimado en 6 metros:

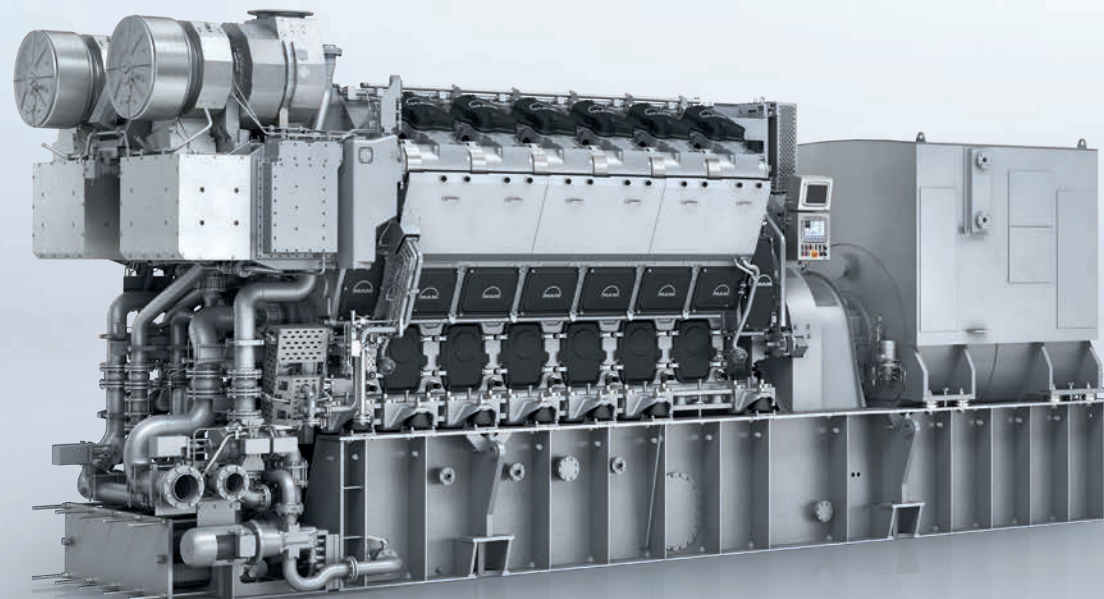
$$T = \frac{\Delta}{Cb * L * B * \rho} = \frac{14321.33}{0.7 * 145 * 24 * 1.025} = 5.71 \text{ m}$$

Como podemos observar con el peso en rosca calculado mediante el desglose de las partidas de pesos no se obtiene el desplazamiento suficiente para alcanzar el calado de diseño. Sin embargo, más adelante en el estudio de las formas del buque se estudiará que cambios se pueden llevar a cabo para conseguir el calado de diseño, así como para satisfacer los criterios de estabilidad impuestos por la normativa.

ANEXO II.I: CATÁLOGOS COMERCIALES

MAN V32/44CR

GENSET



The MAN 32/44CR engine represents the newest technologies in the area of medium speed marine diesel engines. By the use of electronic injection, high efficiency turbochargers, electronic hardware, and variable valve timing the MAN 32/44CR is a synthesis of the most advanced large engine technologies available.

Benefits at a glance

- High efficiency
- High specific power output
- Low emissions
- Low operating and life cycle costs
- Long maintenance intervals and service life
- High reliability

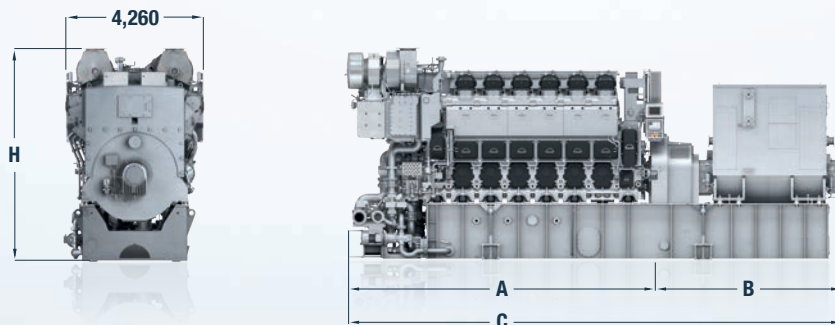
Engineering the Future – since 1758.

MAN Diesel & Turbo



MAN V32/44CR

GENSET



Dimensions

Cyl. No.	12	14	16	18	20	
A	5,382	6,012	6,642	7,272	7,902	mm
B	4,201	4,201	4,201	4,201	4,201	mm
C	11,338	11,968	12,598	13,228	13,858	mm
H	5,014	5,014	5,014	5,014	5,014	mm
Dry mass	117	131	144	159	172	t

Output

Speed	750	750	720	720	r/min
Frequency	50	50	60	60	Hz
	Eng.	Gen.*	Eng.	Gen.*	
MAN 12V32/44CR	7,200	6,984	7,200	6,984	kW
MAN 14V32/44CR**	8,120	7,876	8,120	7,876	kW
MAN 16V32/44CR	9,600	9,312	9,600	9,312	kW
MAN 18V32/44CR	10,800	10,476	10,800	10,476	kW
MAN 20V32/44CR	12,000	11,640	12,000	11,640	kW

*Based on nominal generator efficiencies of 97 %

**580 kW/cyl

Last updated December 2017

General

- Engine cycle: Four-Stroke
- No. of cylinders: 12, 14, 16, 18, 20
- Bore: 320 mm – Stroke: 440 mm
- Swept volume per cyl: 35.4 dm³

Fuel consumption at 85 % MCR*

- SFOC: 172 g/kWh
- SFOC (14 cyl.): 173 g/kWh, 580 kW

Cylinder output (MCR)

- At 750/720 rpm: 600 kW
- At 750/720 rpm: 580 kW (14 cyl.)
- Power-to-weight ratio: 14.3 – 16.3 kg/kW

Compliance with emission regulations*

- IMO Tier II
- IMO Tier III (with MAN SCR)
- EPA Tier 2

Main features

- Turbocharging system**
High efficiency constant pressure MAN TCR series exhaust turbocharging system

MCR = Maximum Continuous Rating | SCR = Selective Catalytic Reduction | SFOC = Specific Fuel Oil Consumption

*According to IMO E2 test cycle

Engine automation and control

MAN in-house developed engine attached Safety and Control System **SaCoS_{One}**

Fuel system

Advanced MAN electronic Common Rail injection system

Lube oil system

Attached lube oil automatic filter

Cooling system

2-string high and low temperature cooling water systems

Starting system

Pressurized air starter (turbine type)

Engine mounting

Direct resilient mounting of the engine on the foundation frame (cone elements)

Optional equipment

- ECOMAP concept – using of different IMO Tier II compliant injection maps to improve fuel economy
- Frame Auxiliary Box (FAB) attached at engine free end

MAN Diesel & Turbo, 86224 Augsburg, Germany

Phone +49 821 322 0, Fax +49 821 322 3382

info@mandieselturbo.com, www.marine.mandieselturbo.com

2 Scope of supply

2.1 General

The **Steering Module** is intended for connection into the ship's hull, and acts as the structural interface with the Propulsion Module. Internally, the Steering Module includes the fully electro-mechanical steering gear actuators as well as the functional accessories and connection points for propulsion and steering.

The **Propulsion Module** of the CO includes a permanent magnet synchronous motor with a fixed-pitch propeller that is mounted directly onto the motor shaft. The motor is directly cooled via convection to the surrounding seawater without using any additional cooling media. The motor is pressurized by air. The Propulsion Module is connected to the Steering Module by means of a cast steel strut.

The strut acts therefore as the connecting component in the CO structure. Control cables, as well as power supply bus bars and piping are located inside this single piece strut.

2.2 Azipod-specific delivered items

Each Azipod CO consists of four (4) separately delivered items for installation into the ship:

- One (1) Steering Module (Mounting interface with the ship)
- One (1) Propulsion Module (Strut, motor and propeller)
- Two (2) Steering Drive Units (Power electronic cubicle)

2.3 Ship-specific delivered items

In addition to the above listed delivery, the ABB scope of supply would typically include all or most of the following items:

- A. One Propulsion Power Drive per each Azipod CO
- B. Remote Control System
- C. The Generator and Switchboard power network outfit

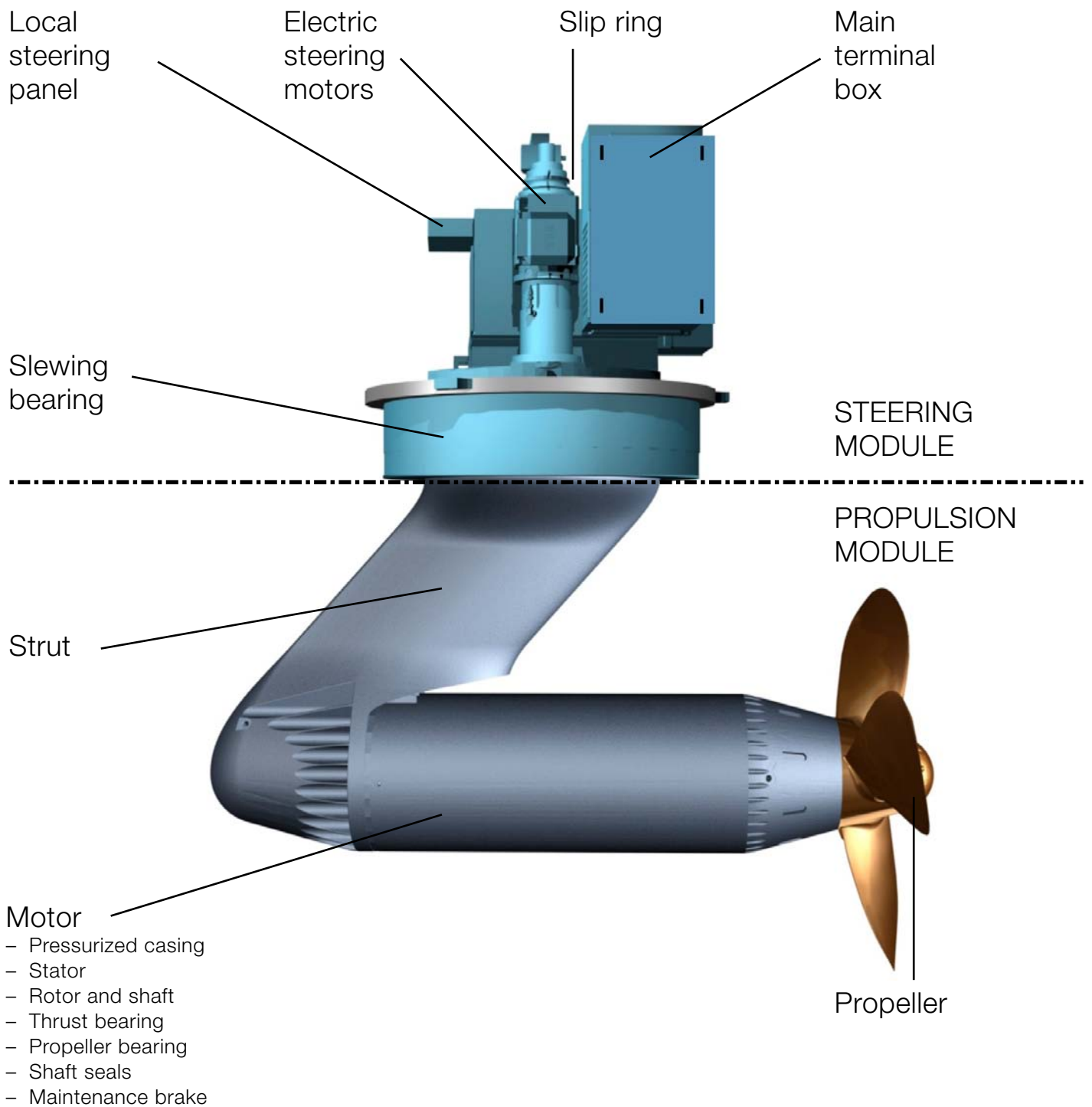


Figure 2-1 Functional elements of the Azipod CO

2.4 Main dimensions and weights

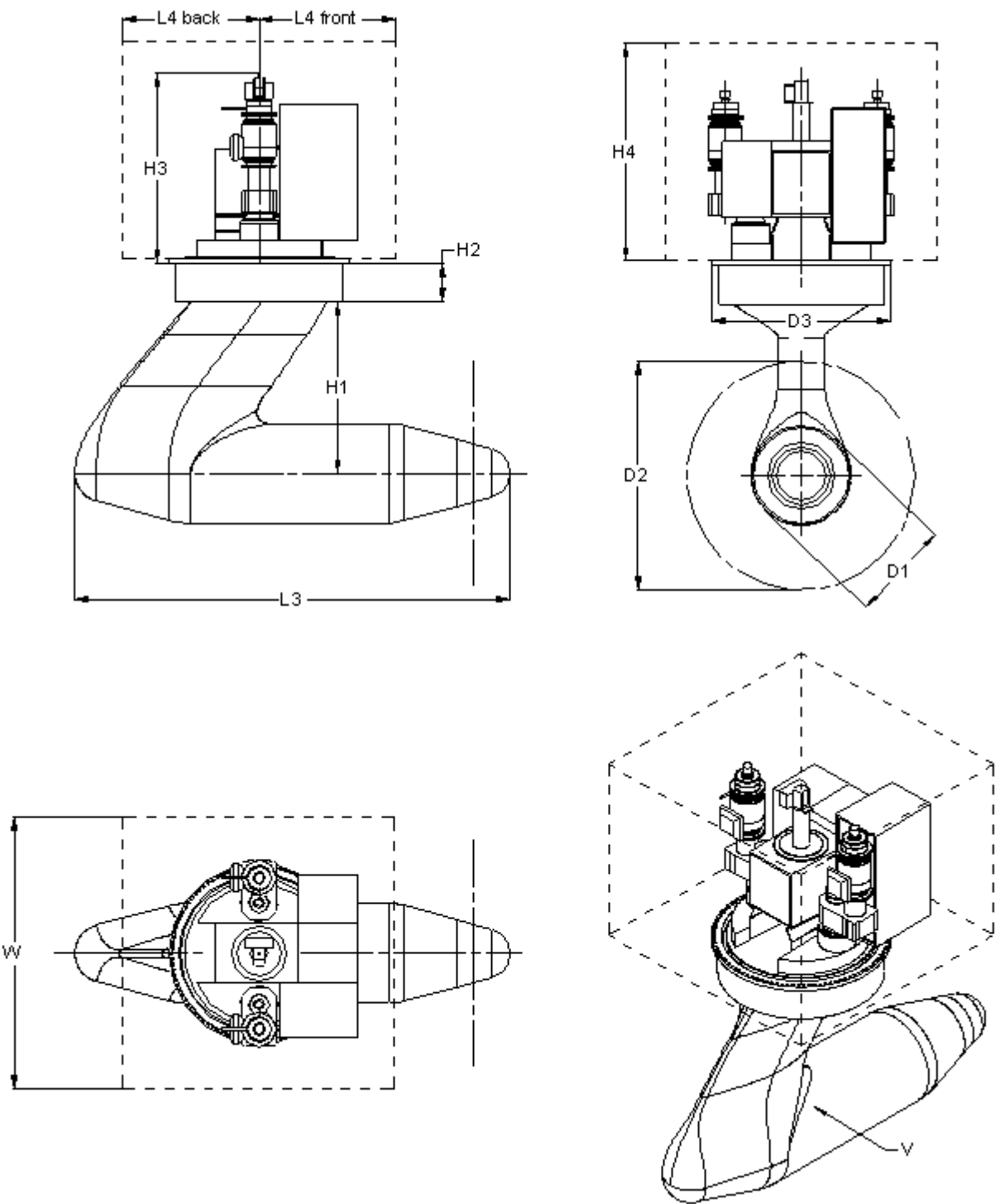


Figure 2-2 Dimensional codes for the Azipod CO

Figure	CO0980	CO1250	CO1400
D1 [mm] Outer diameter of the motor	1039	1310	1470
D2 [mm] Propeller diameter (min. – max.)	1900 – 2600	2400 – 3500	2700 – 4000
D3 [mm] Connection flange outer diameter	2300	2780	2780
L3 [mm] Length of the Propulsion Module	4800	5730	6200
H1 [mm] Height from motor shaft line to the ship bottom	1950	2710	3090
H2 [mm] Height of slewing bearing assembly to the connection flange lower surface	495	650	650
H3 [mm] Height from connection flange lower surface to the top of the steering module	1980	1980	1980
H4 [mm] Maintenance area	2300	2300	2300
L4 back [mm] Maintenance area	1400	1700	1700
L4 front [mm] Maintenance area	2100	2250	2250
W [mm] Maintenance area	4000	4000	4000
M1 [ton] Total weight of complete Azipod	27	49	60
M2 [ton] Weight of the Steering Module	7	11	11
M3 [ton] Mass of the Propulsion Module (including approximate max. weight of propeller)	20	38	49
V [m³] Displacement of the Propulsion Module (at assumed draft)	4	8,5	11
v [knots] Maximum water speed at the Azipod	18	19	21
R [mm] Azipod turning radius	2700	3050	3350
M4 [ton] Mass of the Steering Drive	2 x 0,5	2 x 0,5	2 x 0,5
n [degr/sec] Maximum available steering rate	12		

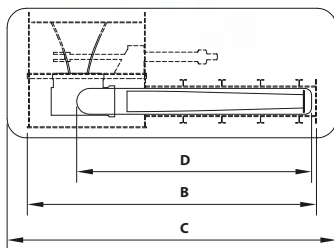
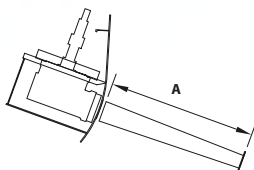
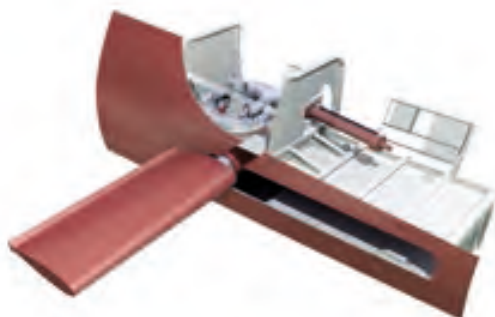
Figure 2-3 Technical figures of the Azipod CO

Retractable stabilisers

The Neptune and Aquarius retractable-fin stabilisers both incorporate a one-piece fin construction, with a 'fishtail' high-lift profile. When not in use, the fins are folded into recesses in the hull, flush with the vessel's side.

Aquarius

The Aquarius folding-fin stabiliser range gives high performance roll damping, with a compact, lightweight design and state-of-the-art controls. The fin operating mechanism is specially configured for smaller vessels.



Technical data

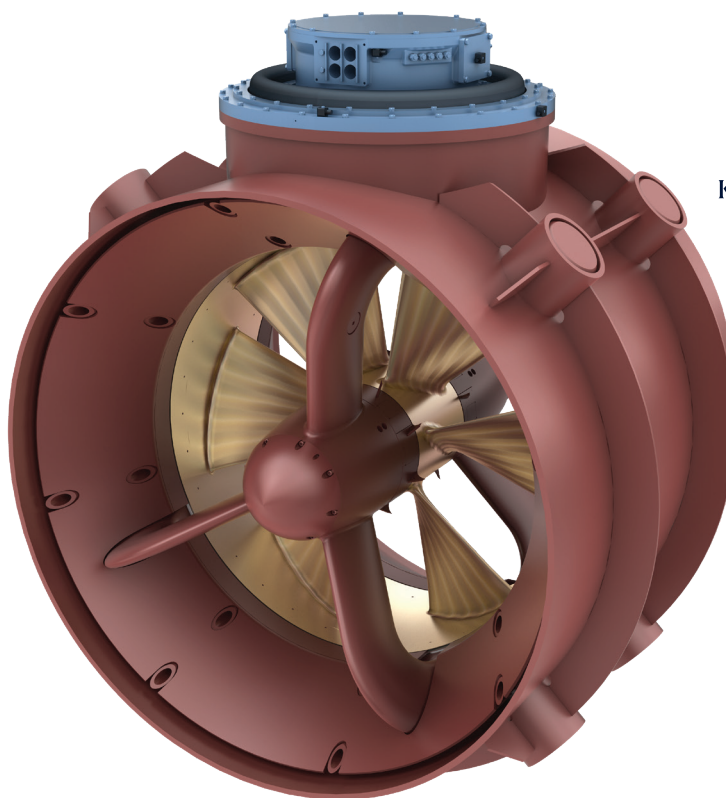
Model	Max. Fin Area (m ²)	Maximum dimensions (m)				Weight (kg)
		A	B	C	D	
A25	1.06 - 2.05	2.44	3.77	4.37	3.14	9700 - 10800
A50	1.82 - 3.51	3.19	4.94	5.54	4.66	19300 - 20800
A100	4.21 - 5.78	3.99	6.18	6.78	5.00	35500 - 40200

All data subject to change without prior notice

TUNNEL THRUSTER PM TT-PM 2000

TYPICAL APPLICATIONS

Suitable for and installed
in all types of vessels



KONGSBERG

KONGSBERG MARITIME TUNNEL THRUSTERS

TT-PM 2000

Tunnel thruster PM

The Permanent Magnet tunnel thruster is a new addition to the Kongsberg Maritime family of thrusters, building on a completely new approach to thruster design and motor integration. The TT-PM will meet the strictest requirements for performance, noise and vibration, and will be an excellent choice for DP operations.

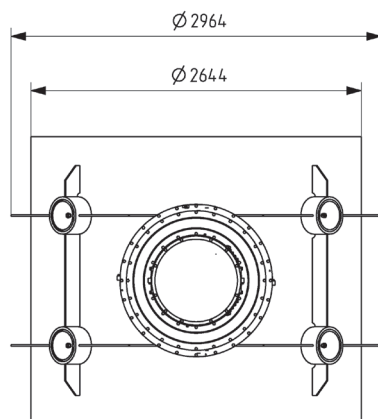
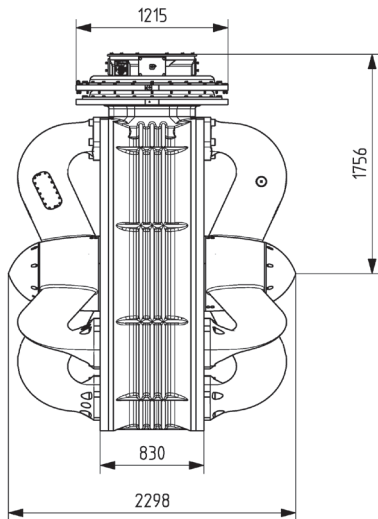
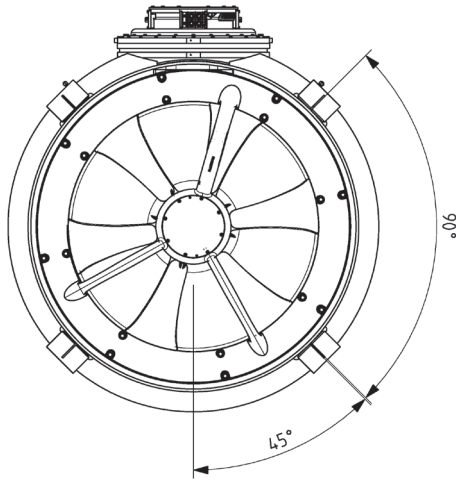
The TT-PM is built around permanent magnet motor technology and a propeller running on roller bearings, supported by a central shaft. The central shaft is supported by stays. These stays and the central bearing housing recover some of the swirl energy created by the propeller, providing additional thrust.

The Kongsberg Maritime thruster has been developed following strict requirements to quality. The thruster contains fewer rotating parts compared to mechanical tunnel thrusters, and thus has fewer components subject to wear and tear.

A new and patented mounting system, based on rubber thrust bushings, reduces the vibration and noise transferred to the steel structure. This increases comfort for the crew during operation of the tunnel thrusters. The new mounting system allows more relaxed tolerances, and permits installation of the thruster at a convenient stage in the construction of the vessel. The mounting system also allows for easy exchange of a complete thruster, with underwater exchange possible as an option to avoid docking.

The TT-PM consist of:

- Permanent magnet motor
- Monoblock fixed pitch propeller
- Lubrication system
- Resilient hull mounting system
- Hydrodynamic fairings on thruster



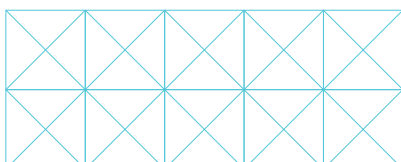
TECHNICAL DATA

TT-PM 2000

Propeller diameter (mm)	2 000
Tunnel diameter (mm)	2 600
Max. power continuous rating (kW)	1 600
Nominal speed (rpm)	0 - 280
Max. output thrust (kN)	211**
Oil volume (dm ³)	200
Weight thruster (kg)	12 217
Weight tunnel (kg)	6 101
Total weight (dry) (kg)	18 318
Propeller type	Monobloc/FP
Direction of rotation	CW/CCW
Drive	AFE or 12-pulse drive
Hull connection	8 x rubber bushings

** Approximate values, provided for information only. Actual thrust may vary for given applications.

* De-rating may be required on 12-pulse drive installations.
All data is subject to change without prior notice.



Kongsberg Maritime
P.O.Box 483, NO-3601
Kongsberg, Norway

Switchboard: +47 815 73 700
Global support 24/7: +47 33 03 24 07
E-mail sales: km.sales@km.kongsberg.com
E-mail support: km.support@kongsberg.com



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo III

CUADERNO 3: DISEÑO DE FORMAS



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1	RPA	¡Error! Marcador no definido.
2	Resumen.....	¡Error! Marcador no definido.
3	Introducción	4
4	Cálculo de coeficientes	5
5	Estudio del contorno de proa y popa	6
5.1	Contorno de proa	6
5.2	Contorno de popa	8
6	Proceso de diseño de las formas del buque	10
7	Comprobación.....	13
8	Plano de formas	¡Error! Marcador no definido.

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es determinar las formas del buque proyecto a partir de los parámetros hallados previamente. Las formas del buque tienen una gran importancia ya que determinan la resistencia que al avance que sufrirá el buque, así como su estabilidad y las características de entrada del flujo en la hélice. De manera que las formas proyectadas deben garantizar una resistencia al avance reducida, la estabilidad del buque e impedir fenómenos como la cavitación o las turbulencias en la hélice.

En este cuaderno, emplearemos el Software MAXSURF Modeler Advanced para generar las formas del barco. Partiremos de un buque similar al proyectado procedente de la base de datos del propio programa, el cual modificaremos para conseguir que se adapte a nuestro crucero.

Partiremos de los datos obtenidos hasta ahora:

Lpp (m)	B (m)	D (m)	T (m)	Cb	Δ (t)	Fn
145	24	8.8	6	0.7	15008	0.218

2 CÁLCULO DE COEFICIENTES

Los coeficientes se calcularon previamente en el Cuaderno 1. A continuación se muestra un resumen del procedimiento seguido para el cálculo de los coeficientes para nuestro buque:

- Coeficiente de bloque

El coeficiente de bloque se obtuvo a partir del estudio de la alternativa más favorable, cuyo valor resultó de:

$$Cb = 0.7$$

- Coeficiente prismático

El coeficiente prismático se obtiene de la fórmula sacada del libro El proyecto básico del buque mercante:

$$Cp = 1.23 - 2.12 * Fn = 0.768$$

- Coeficiente de la maestra

El coeficiente de la maestra es el cociente entre el coeficiente de bloque y el coeficiente prismático, por tanto:

$$Cm = \frac{Cb}{Cp} = 0.91$$

- Coeficiente de flotación

El coeficiente de flotación se obtuvo de la siguiente expresión:

$$Cwf = 0.284 + 0.778 * Cb = 0.829$$

3 ESTUDIO DEL CONTORNO DE PROA Y POPA

3.1 Contorno de proa

El contorno de proa vendrá caracterizado principalmente por la existencia o no de un bulbo de proa. El bulbo de proa tiene dos objetivos fundamentales, el primero de ellos es reducir la resistencia al avance y el segundo mejorar el comportamiento del buque en servicio.

En el libro de *Proyectos de buques y artefactos. Proyecto de las formas de un buque de Fernando Junco Ocampo* se establecen unos criterios para determinar si nuestro buque debe llevar bulbo de proa o no. Los criterios empleados, son los siguientes:

1. $0.65 < Cb < 0.815$

En nuestro caso, $Cb=0.7$. Por lo tanto, nuestro crucero **cumple** este criterio.

2. $5.5 < \frac{L_{pp}}{B} < 7.0$

El crucero proyectado tiene una eslora entre perpendiculares de 145m y una manga de 24 m por tanto, $L_{pp}/B=6$ y **cumple** el segundo criterio.

3. $0.24 < Fn < 0.57$

Nuestro buque tiene un número de Froude igual a 0.218 por lo que **no cumple**.

4. $Cb * \frac{B}{L_{pp}} > 0.135$

Para el buque proyectado $Cb * \frac{B}{L_{pp}}$ tiene un valor igual 0.12 y finalmente **no cumple**.

Como podemos comprobar nuestro buque cumple 2 de los 4 criterios que establecen el uso de un bulbo de proa. Por otra parte, se ha considerado que todos los buques que conforman la base de datos empleada en la definición preliminar llevan bulbo de proa. Además, al estar destinado el buque al transporte de pasajeros, el uso del bulbo se hace aún más conveniente al mejorar el comportamiento del crucero sobre todo en mala mar. Por todos estos motivos, se decide finalmente el empleo de un bulbo en la proa.

Para caracterizar el bulbo de proa, es necesario calcular los siguientes parámetros: altura, protuberancia y área transversal.

- Altura de bulbo (h)

En el libro de *Proyectos de buques y artefactos* mencionado previamente, se establece que la altura del bulbo, que es la altura de la protuberancia máxima medida desde la línea base, suele estar en un rango entre el 35 y el 55% del calado de proa, por lo que un 45% del calado de proa puede ser una buena primera estimación.

$$h = 6 * 0.45 = 2.7 \text{ m}$$

En nuestro caso, contamos con la información del buque de referencia por lo que mediremos en su plano la altura del bulbo de proa. En el buque base:

$$h = 4 \text{ m}$$

Lo que equivale a un 70% del calado de proa.

Por tanto, para calcular la altura del bulbo de nuestro buque nos basaremos en el buque base dado que se acerca más al buque que estamos proyectando a diferencia del rango $0.35T < h < 0.55T$ que hace referencia a un tipo genérico de buques.

Finalmente:

$$h = 0.70 * 6 = 4.2 \text{ m}$$

- Protuberancia del bulbo

Se puede hallar a partir del buque base a través de la fórmula descrita en el libro de Fernando Junco:

$$100 * X' = 100 * X + 8 * (Cb' - Cb) - 0.4 * \left(\frac{L'}{B'} - \frac{L}{B} \right)$$

$$100 * X' = 100 * 6 + 8 * (0.7 - 0.712) - 0.4 * \left(\frac{145}{24} - \frac{162}{23.8} \right)$$

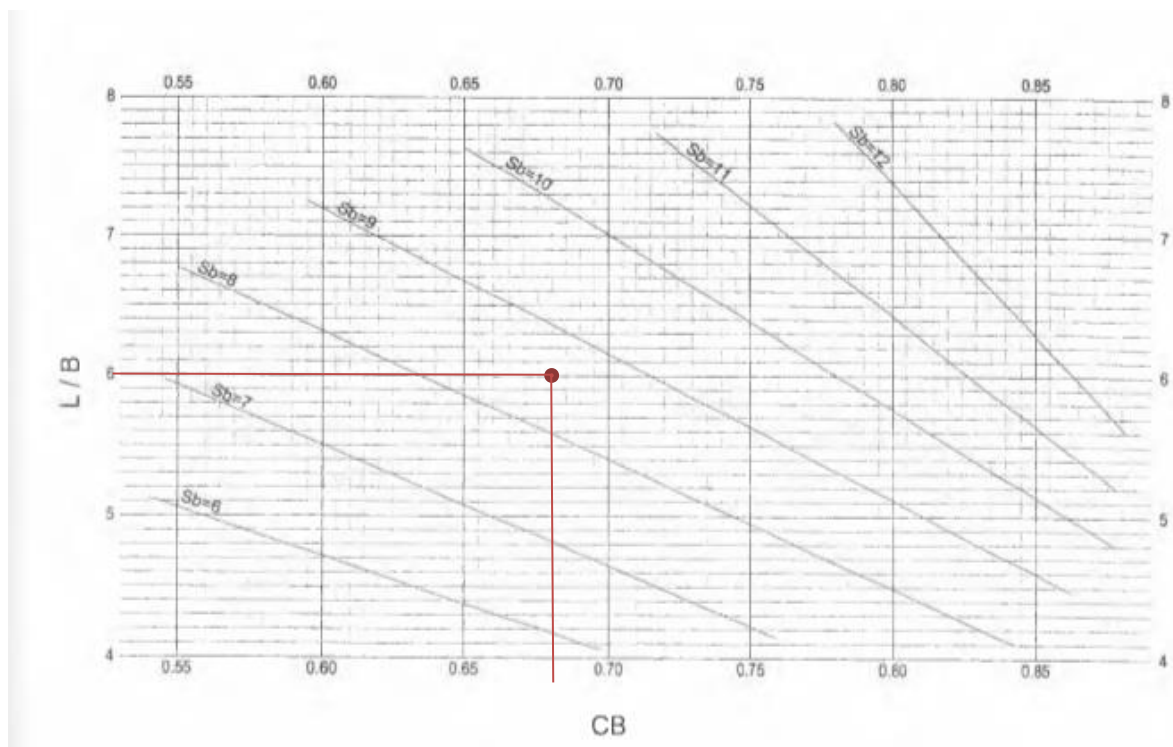
$$X' = 6 m$$

- Área transversal

Para calcular el área transversal en función del área de la maestra (%) empleamos la siguiente tabla de libro en la que entramos con los siguientes valores:

$$\frac{L}{B} = \frac{145}{24} = 6.04$$

$$Cb = 0.7$$



Interpolando, obtenemos que:

$$Sb = 8.8\% \text{ de } Am$$

Ahora necesitamos conocer el área de la maestra:

$$Am = Cm * B * T = 0.91 * 24 * 6.15 = 134.316 m^2$$

Finalmente:

$$Sb = \frac{8.8}{100} * 134.316 = 11.82 m^2$$

3.2 Contorno de popa

El contorno de popa afecta seriamente al flujo de entrada de agua en las hélices, es decir, tiene una gran influencia en el rendimiento propulsivo. Por tanto, es necesario asegurarse de que la popa provee a la hélice de los huelgos suficientes para evitar problemas de vibración.

Para calcular los huelgos mínimos necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de la hélice nos basaremos en las indicaciones establecidas en la reglamentación de la Sociedad de Clasificación DNV. En este proyecto no será necesario calcular todos los huelgos establecidos en la parte 3, capítulo 3, sección 2 c105 del reglamento del DNV debido a que el crucero proyectado no tendrá timón por poseer 2 hélices azimutales.

A continuación, se muestra la imagen del reglamento:

Table C1 Minimum clearances	
For single screw ships:	For twin screw ships:
$a \geq 0,2 R \text{ (m)}$	
$b \geq (0,7 - 0,04 Z_p) R \text{ (m)}$	
$c \geq (0,48 - 0,02 Z_p) R \text{ (m)}$	$c \geq (0,6 - 0,02 Z_p) R \text{ (m)}$
$e \geq 0,07 R \text{ (m)}$	

R = propeller radius in m
 Z_p = number of propeller blades.

---e-n-d---of---G-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

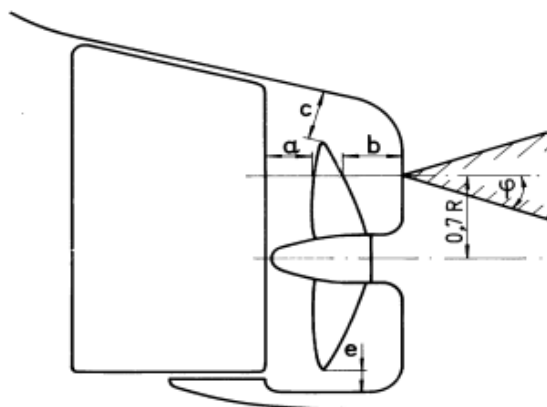


Figura 1: Holguras de la hélice. DNV-GL

Para poder hacer los cálculos pertinentes, necesitamos conocer el radio de la hélice, así como el número de palas. Aunque más adelante haremos un análisis más detallado para hallar que propulsor nos conviene más, por ahora estimaremos estos parámetros a partir del buque base y del catálogo de hélices azimutales de ABB. Por tanto, tomaremos:

$$Z_p = 4$$

$$R = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ m}$$

Los resultados obtenidos son los siguientes:

$$a \geq 0.3 \text{ m}$$

$$b \geq 0.81 \text{ m}$$

$$c \geq 0.6 \text{ m}$$

$$e \geq 0.105 \text{ m}$$

Sin embargo, como ya se ha mencionado, el buque proyecto no dispone de timones por lo que estos datos obtenidos no son representativos, salvo c.

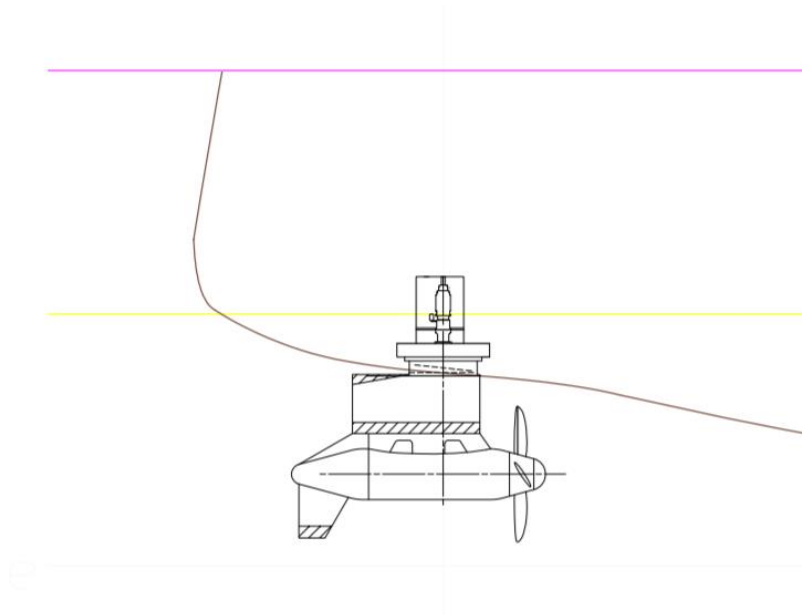


Figura 2: Hélice sobre casco

En la imagen anterior se puede apreciar como resultaría la popa del buque con el propulsor colocado sobre la perpendicular de popa. El plano del azimutal ha sido obtenido de la página web de ABB y en el mismo se establecían ciertas características para que el propulsor funcione correctamente que también tendremos en cuenta:

- El ángulo de inclinación del codaste en la zona donde va colocada la hélice no puede ser de más de 6°
- Distancia igual o superior a $0.25 \cdot D$ entre el punto más superior de la pala y el casco del buque. Es decir, una distancia superior a 0.75 m.

Por tanto, estos factores también los tendremos que tener en cuenta a la hora de realizar el contorno de la popa del buque.

4 PROCESO DE DISEÑO DE LAS FORMAS DEL BUQUE

Como se ha mencionado previamente hemos empleado el Software MAXSURF Modeler Advanced. Para realizar las formas de nuestro buque hemos partido de un modelo de la base de datos de dicho Software sobre el que hemos realizado modificaciones para obtener las formas deseadas.

El modelo de partida se trata del modelo “CruiseShip_Pro” del cual se muestra la tabla de hidrostáticas a continuación:

Tabla 1: Tabla Hidrostáticas modelo de partida

Measurement	Value	Unit
Displacement	67583	t
Volume (displaced)	65,934,837	m ³
Draft Amidships	8,8	m
Immersed depth	8,8	m
WL Length	314,412	m
Beam max extents on WL	38,595	m
Wetted Area	13,347,020	m ²
Max sect. area	305,423	m ²
Waterpl. Area	9,723,111	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,687	
Block coeff. (Cb)	0,617	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,901	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,801	
LCB length	157,76	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	138,326	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	50,176	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	43,995	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	5,028	m
KG fluid	0	m
BMt	15,895	m
BML	850,789	m
GMt corrected	20,923	m
GML	855,816	m
KMt	20,923	m
KML	855,816	m
Immersion (TPc)	99,662	tonne/cm
MTc	1,897,596	tonne.m
RM at 1deg =		
GMt.Disp.sin(1)	24,678,716	tonne.m
Length:Beam ratio	8,146	
Beam:Draft ratio	4,386	
Length:Vol ^{0.333} ratio	7,783	
Precision Medium	68 stations	

Se seleccionó este modelo porque, a pesar de tener unas dimensiones mayores y un coeficiente de bloque menor, tiene una forma similar a la de nuestro buque proyecto. Por tanto, es un buen modelo sobre el cual se deben llevar a cabo las modificaciones necesarias para obtener las formas deseadas.

En primer lugar, nos quedamos solo con el casco del modelo y se procede a ajustar la eslora, la manga y el calado del buque. De esta forma obtenemos un modelo similar al modelo de MAXSURF pero con los parámetros adecuado.

A continuación, con la ayuda de un plano de flotación realizamos un corte al casco para quedarnos únicamente con la parte estanca. En nuestro buque la altura de este plano de flotación es de 14.8 m en la zona de del castillo de proa y de 11.8 metros a popa. Estas alturas se obtienen de la sección transversal de nuestro buque. La cubierta castillo se encuentra a una distancia de 112 m de la perpendicular de popa para hacerla coincidir con un mamparo estanco transversal.

También se debe configurar la separación entre cuadernas, líneas de agua y planos longitudinales. En nuestro caso hemos dividido la eslora total del buque en 78 cuadernas divididas una distancia de 2 metros. Las líneas de agua se han separado una distancia de 1.5 metros abarcando todo el puntal del casco. Por último, la semimanga se dividió en 8 planos horizontales separados 1.5 metros (desde 1.5 a 12 m). Además, se ajustan los puntos del contorno de proa y de popa para que cumplan los criterios hallados previamente.

Finalmente, se modifican las formas obtenidas para llevar el centro de carena más a popa de lo que se obtiene inicialmente y asegurar de este modo que en el Cuaderno 5 la estabilidad del buque cumple los criterios que se explicarán en dicho cuaderno. Como se pudo comprobar en el Cuaderno 2 el peso en rosca obtenido fue menor al estimado inicialmente, lo que resultó en una disminución del coeficiente de bloque, dentro de los márgenes vistos en el Cuaderno 1.

Tras llevar a cabo todos estos cambios, las hidrostáticas del buque que se obtiene son:

Tabla 2: Tabla Hidrostáticas buque proyecto

Measurement	Value	Unit
Displacement	14557	t
Volume (displaced)	14201,499	m ³
Draft Amidships	6	m
Immersed depth	6	m
WL Length	151,349	m
Beam max extents on WL	23,997	m
Wetted Area	4068,205	m ²
Max sect. area	136,728	m ²
Waterpl. Area	2950,117	m ²
Prismatic coeff. (Cp)	0,686	
Block coeff. (Cb)	0,652	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,95	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,812	
LCB length	63,719	from zero pt. (+ve fwd) m
LCF length	58,604	from zero pt. (+ve fwd) m
LCB %	42,101	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
LCF %	38,721	from zero pt. (+ve fwd) % Lwl
KB	3,356	m

KG fluid	0	m
BMt	8,73	m
BML	287,104	m
GMt corrected	12,086	m
GML	290,46	m
KMt	12,086	m
KML	290,46	m
Immersion (TPc)	30,239	tonne/cm
MTc	291,592	tonne.m
RM at 1deg =		
GMt.Disp.sin(1)	3070,393	tonne.m
Length:Beam ratio	6,307	
Beam:Draft ratio	4	
Length:Vol ^{0.333} ratio	6,25	
Precision	High	115 stations

Además, la curva de áreas obtenida es la siguiente:

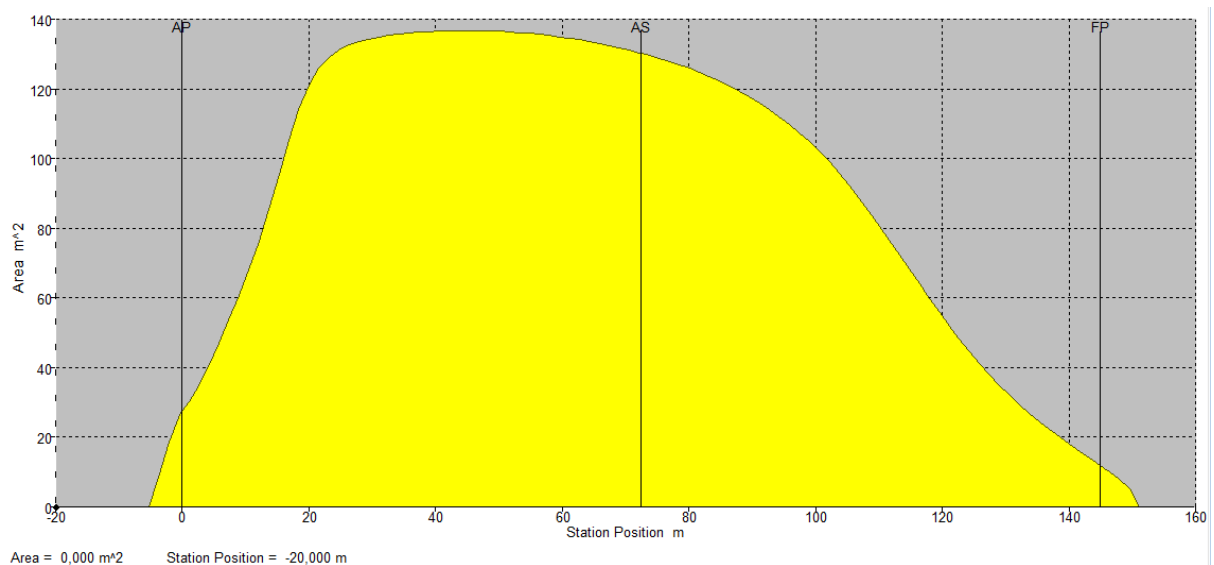


Figura 3: Curva de áreas buque proyecto

Como se puede comprobar y tras el estudio de diferentes formas, se decidió bajar el coeficiente del bloque. Esta decisión fue el resultado del peso en rosca y la estimación del desplazamiento obtenidos en el Cuaderno 2 que fue menor que el estimado previamente en el Cuaderno 1. Por lo que se decidió reducir el coeficiente de bloque para conseguir tener el calado de 6 metros de diseño y no amenazar así la estabilidad del crucero. Además, se tuvo en cuenta las indicaciones del artículo *“Ingeniería básica en el proyecto de los buques de pasaje – Conceptos fundamentales, por Fernando Junco Ocampo y Santiago López Recio”* sacado de la publicación de abril de 1999 de *Ingeniería Naval* que nos dice que los cruceros tienen normalmente un coeficiente de bloque entre 0.6 y 0.7 por lo que nos mantenemos en este rango.

Las formas finales del buque pueden encontrarse en el Documento Planos.

5 COMPROBACIÓN

Finalmente, tras ver en la tabla de hidrostáticas de nuestro buque tiene las dimensiones adecuadas y el coeficiente de bloque es el calculado previamente, debemos asegurarnos de que el contorno de proa y de popa cumplen con los requisitos calculados en el apartado 3.

- Contorno de proa

Tras el estudio del contorno de proa, se decidió la utilización de un bulbo con las siguientes características:

$$h = 4.2m$$

$$X = 6m$$

$$Sb = 11.82 m^2$$

La altura del bulbo, así como su protuberancia se pueden calcular en el plano de formas.

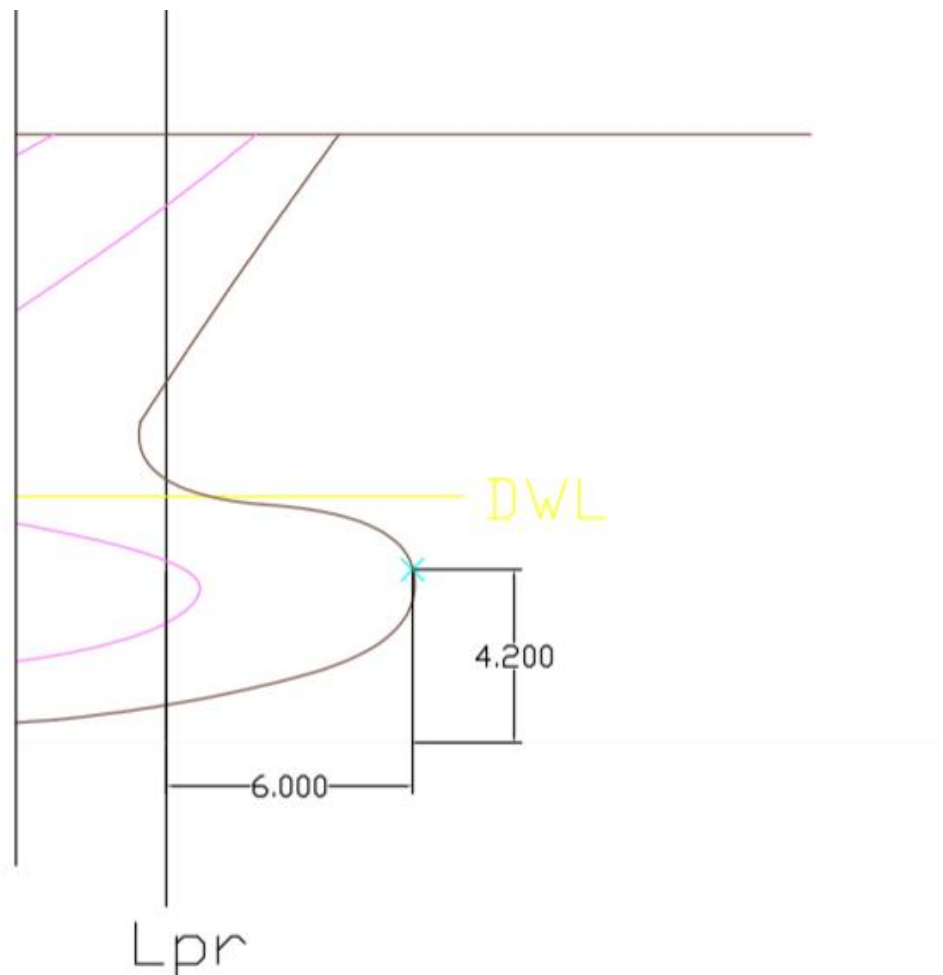


Figura 4: Comprobación contorno de proa

Por otra parte, el área transversal del bulbo se puede hallar en la curva de áreas. Obtenemos que a la altura de la perpendicular de popa la sección transversal es de $11.854 m^2$ lo que supone un valor muy similar al estimado previamente y por tanto será considerado válido.

- Contorno de popa

Es necesario comprobar que la hélice dispone de espacio suficiente en la popa del buque. Para ellos nos quedamos con los parámetros más restrictivos que son los siguientes:

1. El ángulo de inclinación del codaste en la zona donde va colocada la hélice no puede ser de más de 6°
2. Distancia igual o superior a $0.25 \cdot D$ entre el punto más superior de la pala y el casco del buque. Es decir, una distancia superior a 0.75 m.

Esto también se puede comprobar en el plano de formas. Empleando el plano de una hélice real a escala de ABB cuyas características se pueden encontrar en el ANEXO, comprobamos que la popa tiene espacio suficiente para acomodar una hélice de 3m de diámetro.

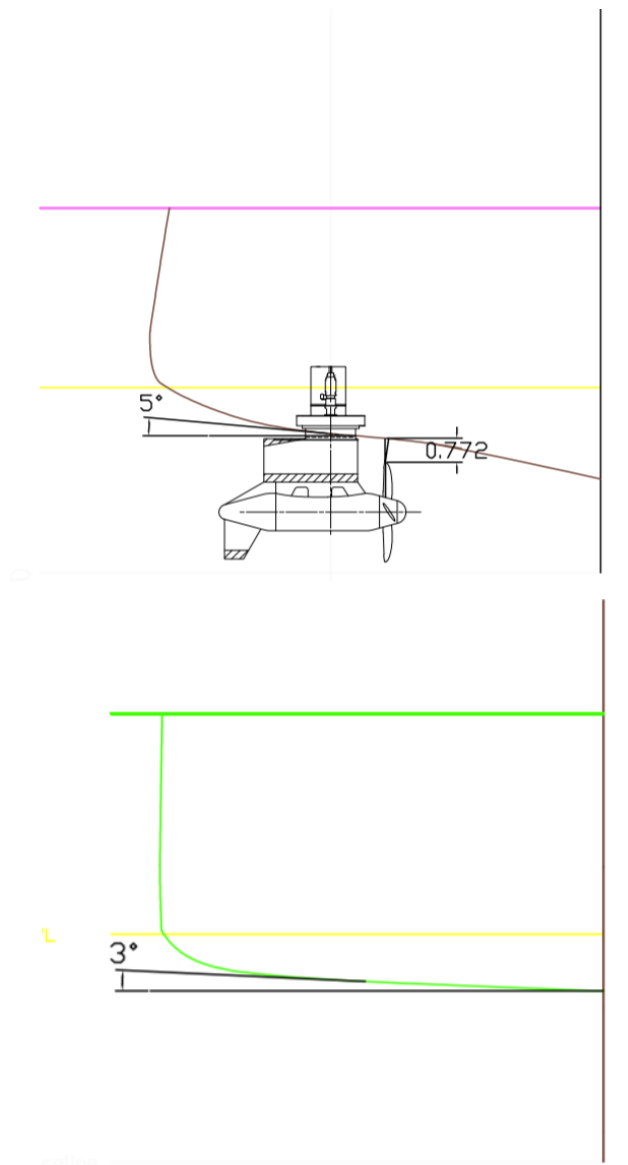


Figura 5: Comprobación contorno de popa



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo IV

CUADERNO 4: CÁLCULOS DE ARQUITECTURA NAVAL



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 Zona estanca y puntos de inundación progresiva.....	5
4 Compartimentado.....	6
4.1 Espaciado de cuadernas y bulárcamas.....	6
4.2 Mamparos transversales.....	6
4.3 Doble fondo y cubiertas.....	10
4.4 Mamparos longitudinales.....	11
5 Capacidades de los tanques.....	12
5.1 Combustible.....	12
5.2 Aceite.....	14
5.3 Tanques Misceláneos.....	14
5.4 Agua dulce.....	14
5.5 Aguas grises y negras.....	15
5.6 Agua de lastre.....	16
6 Disposición de los tanques.....	18
7 Cálculo de hidrostáticas.....	20
8 Cálculo de curvas de brazos adrizantes.....	35
Anexo IV.I: Calibrado de los tanques.....	42

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es definir el compartimentado del buque a partir de los parámetros del buque proyecto calculados previamente y de las formas obtenidas en el Cuaderno 3. Para lograrlo se definirá la posición de los mamparos estancos, así como de los tanques, de los que conoceremos su localización y capacidad y quedarán reflejados en la disposición de tanques.

A continuación, se muestra un resumen de los datos obtenidos:

Tabla 1: Resumen parámetros buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos
Grupos generadores	4x3600	kW

Al igual que en el Cuaderno 3, en donde utilizamos el programa Maxsurf Modeler Advanced para la obtención de los valores mostrados en la gráfica superior, en este cuaderno también emplearemos un Software del mismo paquete del Maxsurf, Maxsurf Stability, para la obtención de las tablas hidrostáticas, de KN's y los puntos de inundación progresiva

3 ZONA ESTANCA Y PUNTOS DE INUNDACIÓN PROGRESIVA

La zona estanca del buque es aquella que no dispone de aberturas o en caso de existir alguna, están protegidas por cierres estancos al agua. Es la zona que aporta flotabilidad e incluye todo el espacio hasta la cubierta de francobordo.

En el buque proyecto, la zona estanca estará formada por los espacios comprendidos desde la línea base hasta la primera cubierta de superestructura al tratarse de una cubierta cerrada según lo estipulado en el Convenio de Líneas de Carga en la Regla 3 (10)(b). Además, en la zona de proa se incluirá la cubierta castillo. Es decir, la zona estanca comprenderá desde la línea base hasta la cubierta 2, que se encuentra a 11.8 m, y hasta la cubierta 3 a 14.4 m sobre la línea base en la zona de la cubierta castillo.

Por encima de la zona estanca se encontrarán los puntos de inundación progresiva. Los puntos de inundación progresiva son aquellas aberturas no estancas a la intemperie que al sumergirse pueden embarcar agua a la zona estanca, tales como admisiones, ventilaciones, exhaustaciones, accesos no estancos, etc.

Los puntos de inundación progresiva del crucero serán por tanto aquellos portillos o ventanas de la zona de habitación situada sobre la cubierta 4, debido a que por debajo de esta las aberturas permanecerán cerradas y serán estancas.

A continuación, se muestra una imagen donde se puede ver tanto la ubicación de los accesos no estancos de la cubierta 4 sobre el plano como la zona estanca.

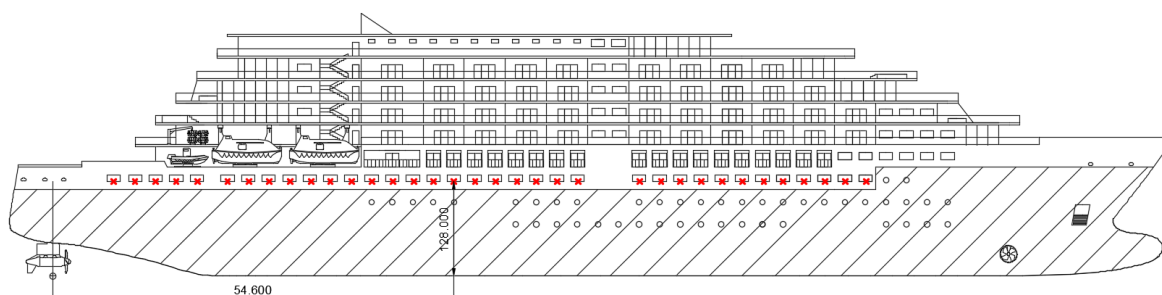


Figura 1: Puntos de inundación progresiva

En la siguiente tabla está indicada la posición de los puntos de inundación progresiva que se corresponderán con los portillos situados en la posición más extrema.

Tabla 2: Coordenadas puntos de inundación progresiva

Puntos de inundación progresiva	Coordenadas		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Acceso	54,6	12	12,8
Acceso	54.6	-12	12,8

4 COMPARTIMENTADO

Para calcular los elementos del compartimentado, habrá que regirse por la Sociedad de Clasificación y por el SOLAS.

4.1 Espaciado de cuadernas y bulárcamas

Para definir el espacio entre cuadernas el DNV no aporta ninguna recomendación, por lo que nos basaremos en buques similares para escoger dicho valor. La separación de cuadernas en buques crucero suele encontrarse entre 600 y 800mm. Por tanto, la separación de cuadernas seleccionada es:

$$s = 700mm$$

Para seleccionar el espaciado entre las bulárcamas, nos basaremos en las recomendaciones aportadas en la asignatura de Proyectos del Buque y Artefactos que son las siguientes:

- Entre 3 y 5 claras de cuadernas en la zona general
- Entre 2 y 3 en la zona de cámara de máquinas, popa y proa.

Finalmente, la separación de las bulárcamas será de 4 claras de cuadernas en la zona central del buque, es decir de $700 * 4 = 2800 \text{ mm}$, y de 2 claras de cuadernas, 1400 mm, en la zona de popa donde se encuentra el equipo de los azimutales, en la zona de la cámara de máquinas y en la zona de proa.

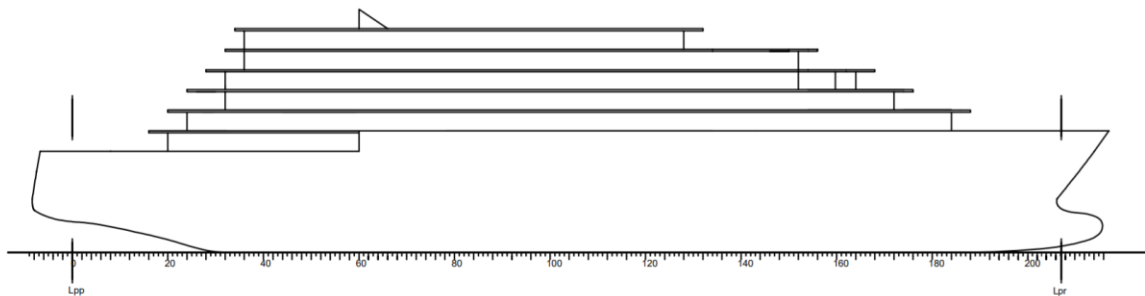


Figura 2: Separación entre cuadernas

En relación con el buque proyecto observamos que la separación entre cuadernas es de 600mm lo que permite que los camarotes de menor tamaño tengan una longitud de 3 metros, es decir, ocupen 5 claras de cuadernas. Sin embargo, los camarotes en nuestro buque ocuparán 4 claras, lo que se corresponde con una longitud total de 2.8 metros por camarotes. Supondremos que esta longitud es suficiente debido a que el buque de referencia se trata de un buque de lujo por lo que los camarotes destacan por ser espaciosos y 20 cm menos no va a suponer un problema.

4.2 Mamparos transversales

Los mamparos transversales han de ser estancos hasta la cubierta de compartimentado y es necesario definir como mínimo los siguientes:

- Mamparo de colisión
- Mamparo de pique de popa
- Mamparos en los extremos de cámara de máquinas

Como nuestro buque tiene propulsión diésel eléctrica, tanto la cámara de máquinas donde se encuentra el generador, como la de la hélice azimutal tienen que estar delimitados por mamparos estancos.

El número de mamparos principales necesarios viene determinado por las SS.CC.

Table 1 Number of transverse bulkheads

Ship length in m	Engine room	
	Aft	Elsewhere
$L \leq 65$	3	4
$65 < L \leq 85$	4	4
$85 < L \leq 105$	4	5
$105 < L \leq 125$	5	6
$125 < L \leq 145$	6	7
$145 < L \leq 165$	7	8
$165 < L \leq 190$	8	9
$190 < L \leq 225$	9	10
$L > 225$	specially considered	

Figura 3: Tabla número mínimo mamparos estancos. DNV-GL

Como se puede observar en la imagen superior, para nuestro buque que tiene una eslora entre perpendiculares de 145 metros, necesitamos al menos 8 mamparos transversales.

- Mamparo de Colisión

El DNV establece las siguientes reglas (xc medido desde la perpendicular de proa):

$$xc - min = \min (0.05 * L_{ll} - xf; 10 - xf)$$

$$xc - max = \max (0.08 * L_{ll} - xf; 0.05 * L_{ll} + 3 - xf)$$

Siendo,

L_{ll} el 96% de la eslora total en la línea de agua correspondiente al 85% del puntal. En el buque proyecto toma un valor de L_{ll}= 144.2 m.

xf el ajuste debido a la variación del punto de referencia en función del bulbo. Se toma el menor de:

- El 50% de a protuberancia del bulbo = $0.5 * 6 = 3$ m
- El 1.5% de L_{ll} = $0.015 * 144.2 = 2.16$ m
- 3 metros

Por tanto,

$$\begin{array}{lcl}
 xc - min_1 = 0.05 * 144.2 - 2.16 = 5.05 \text{ m} & \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} & xc - min = 5.05 \text{ m} \\
 xc - min_2 = 10 - 2.16 = 7.84 \text{ m} & & \\
 xc - max_1 = 0.08 * 144.2 - 2.16 = 9.38 \text{ m} & \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} & xc - max = 9.38 \text{ m} \\
 xc - max_2 = 0.05 * 144.2 + 3 - 2.16 = 8.05 \text{ m} & &
 \end{array}$$

Teniendo en cuenta estos valores, se decidió ubicar el mamparo de colisión a 9.2 metros de la perpendicular de proa, haciéndolo coincidir con la cuaderna número 194.

- Mamparo de popa

No existe reglamentación en relación con la posición del mamparo de popa. Por tanto, lo ubicaremos a 5.6 metros de la perpendicular de popa, a la altura de la cuaderna número 8. Se escoge esta posición porque así también delimita la cámara de máquinas de los propulsores de popa, donde se encuentran los propulsores azimutales.

- Mamparos de cámara de maquinas

La longitud de la cámara de máquina vendrá determinada por las dimensiones los motores principales. En caso de este buque, inicialmente, se ha determinado que se propulsará con con cuatro motores del tipo MAN L32/44CR del fabricante MAN Energy Solutions cuyas dimensiones se muestran a continuación:

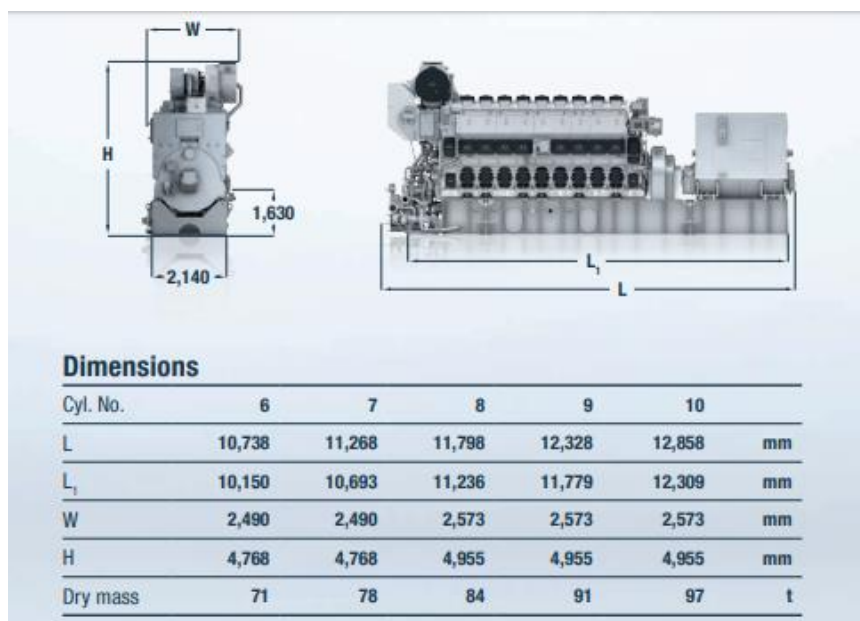


Figura 4: Dimensiones grupo generador

Los motores irán colocados en parejas simétricas con respecto a crujía repartidos en dos cámaras de máquinas de la siguiente manera:

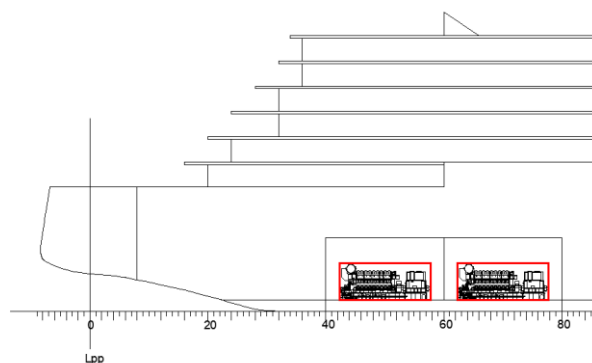


Figura 5: Disposición de grupos de generadores

De forma que la cámara de máquinas tendrá que tener una longitud mínima de $10.738+10.738=21.476$ metros. A esta distancia hay que sumarle una distancia del motor al mamparo de proa, entre ambos motores, y del motor al mamparo de popa. Por tanto, suponiendo una separación de 2 metros entre los mamparos y los motores y de 2.5 metros entre los motores, la longitud total de la cámara de maquinas, resulta en 27.976 metros.

Finalmente para hacer coincidir los mamparos de la cámara de máquinas con las bulárcas, la cámara de máquinas tendrá una longitud total de 28 metros e irá ubicada entre las cuadernas número 40 y 80.

La cámara de máquinas comenzará en la cuaderna 40 a 28 metros de la perpendicular de popa.

Además, será necesario disponer de un mamparo transversal que separe la cámara de máquinas en dos. Esto es para evitar comprometer todos los grupos generadores en caso de entrada de agua a una de las cámaras de máquinas y así poder mantener unas condiciones mínimas de seguridad y propulsión.

- Mamparos local propulsor de proa

Los propulsores transversales de proa también deben ir ubicados entre mamparos estancos. La distancia entre dichos mamparos ha de ser aproximadamente tres veces el diámetro del propulsor. Considerando un diámetro de 2 metros y la instalación de dos equipos para disponer de redundancia en el sistema, los mamparos del local del propulsor de proa han de ir separados entre ellos una longitud igual a:

$$L_{local\ propulsor\ proa} = 2 * 2 * 3 = 12\ metros$$

Por lo que, para hacerlos coincidir con las bulárcas la distancia total será de 12.6 metros equivalentes a 18 claras de cuadernas. Este local irá situado a popa del mamparo de colisión.

- Otros

Para definir el resto de mamparos transversales es necesario recurrir al SOLAS, Capítulo II-I, Regla 8, Averías de costado donde se especifica la longitud de averías, que es la mínima a la cual se deberían espaciar los mamparos transversales, para evitar que una única avería inundase varios compartimentos. Para un buque crucero para 360 pasajeros, nos da la siguiente longitud:

$$L_{avería} = 0.028 * L_s$$

Donde L_s es la eslora máxima correspondiente a la zona estanca, es decir 152.8 metros. Por tanto la eslora de averías resultará:

$$L_{avería} = 0.028 * 152.8 = 4.2784\ m$$

Esta distancia equivale a 6.072 claras de cuadernas, por lo que la distancia mínima necesaria entre los mamparos transversales estancos, si los hacemos coincidir con los refuerzos principales (bulárcas) sería de 8 claras de cuadernas, es decir dos espacios entre bulárcas. Sin embargo, si dividiésemos el buque en mamparos transversales cada 8 cuadernas, el número total de mamparos ascendería a 20. Como no es necesario un número tan elevado de mamparos transversales y, finalmente, se decide disponer 12 mamparos que irán ubicados como se puede apreciar en la imagen siguiente, con una separación de 11.2 metros salvo aquellos que delimitan las cámaras de máquinas y que ya se han justificado previamente:

- Mamparo de popa: cuaderna 8 (5.6 m desde Lpp)
- Cuaderna 24 (16.8 m desde Lpp)
- Mamparo de popa de C.M.: cuaderna 40 (28 m desde Lpp)
- Mamparo intermedio C.M.: cuaderna 60 (42 m)
- Mamparo de proa de C.M.: cuaderna 80 (56 m)
- Cuaderna 96 (67.2 m)
- Cuaderna 112 (78.4 m)
- Cuaderna 128 (89.6 m)
- Cuaderna 144 (100.8 m)
- Cuaderna 160 (112 m)
- Mamparo local propulsor de proa: cuaderna 176 (123.2 m)
- Mamparo de colisión: cuaderna 194 (135.8 m)

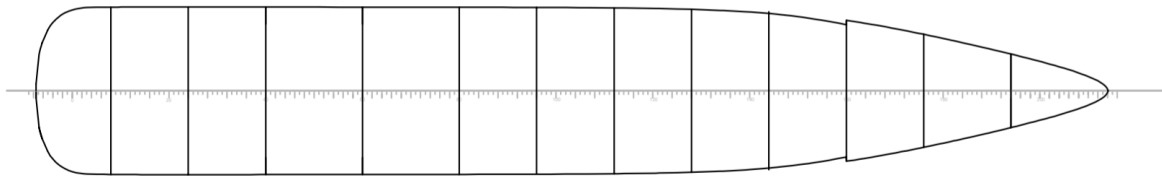


Figura 6: Separación mamparos estancos

Estos mamparos se extenderán desde el fondo a la cubierta de cierre. Como se verá en fases posteriores del anteproyecto, algunos de estos mamparos se extenderán hasta cubiertas superiores por tratarse de mamparos cortafuegos.

4.3 Doble fondo y cubiertas

El doble fondo debe extenderse desde el pique de popa al mamparo de colisión siempre y cuando sea posible. El DNV nos da una fórmula para calcular la altura del doble fondo:

$$hdb = 1000 * B/20 = 1200 \text{ mm}$$

Es decir, la altura del doble fondo debe ser tal que en ningún punto el fondo interior se encuentra por debajo de una plano paralelo a la línea de quilla situado a una distancia vertical de 1.2 metros medidos sobre dicha línea.

En nuestro caso fijaremos la altura del doble fondo a 1.4 metros, por lo que cumplimos la altura mínima. Se decide aumentar ligeramente la altura del doble fondo con la finalidad de disponer de una acceso más sencillo a los tanques que irán ubicados en él y cumplir a lo largo de toda la eslora la distancia marcada por el DNV.

En la zona estanca dispondremos de cuatro cubiertas. La cubierta 1 se encontrará sobre el doble fondo a una altura de 1,4 metros sobre la línea base con una altura total de 4.7 metros. Esta cubierta estará destinada a alojar los espacios del buque destinados a maquinaria (cámara de máquinas, equipo contraincendios, sistema de generación de agua sanitaria, separador de sentinas, etc.). A 6.1 metros sobre la línea base se encuentra la cubierta 2 sobre la que se ubicará la zona de habilitación de la tripulación, la lavandería y pañoles. Sobre la cámara de máquinas esta cubierta dispondrá de unas aberturas sobre los grupos generadores (motor diésel+ generador) para disponer de espacio suficiente sobre ellos, así como sobre los propulsores principales. Los motores del grupo generador como se puede apreciar en la imagen vista previamente, tienen una altura total de 4.768 metros, por lo que se dispondrá de $8.8 - 1.4 - 4.768 = 2.632$ metros por encima de ellos para operaciones de servicio y mantenimiento. Por último, la cubierta 3 o cubierta principal a 8.8 metros sobre la línea base está destinada a alojar la cocina y espacios para el pasaje como el restaurante. La zona de proa también incluye la cubierta 4 a 11.8 metros sobre la línea base.

Además, la superestructura estará formada por 6 cubiertas más destinadas a hospedar al pasaje. Las cubiertas estarán situadas cada 3 metros alcanzando una altura máxima de 32.8 metros sobre la línea base.

En la siguiente imagen se pueden apreciar tanto las cubiertas de la zona estanca como el doble fondo:

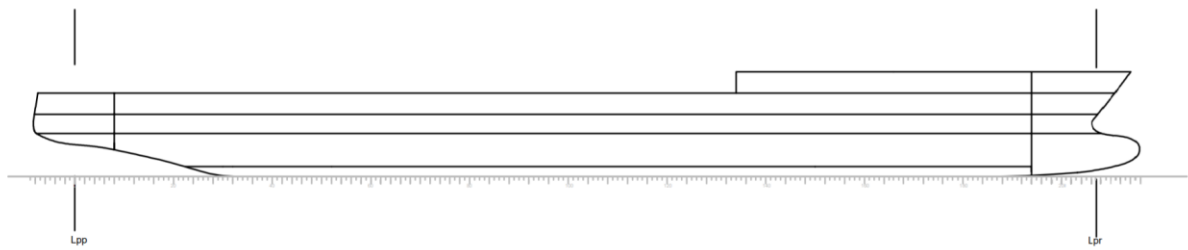


Figura 7: Cubiertas

4.4 Mamparos longitudinales

Se deben distribuir mamparos longitudinales para asegurar la estabilidad del buque frente a posibles averías.

Para cumplir la estabilidad tras averías, el buque proyecto debe cumplir las recomendaciones indicadas en el SOLAS (Regla 8, capítulo 2-1). Al igual que en el apartado anterior, disponemos de una manga de avería que se calcula de la siguiente forma:

$$B_{averías} = 0.0945 * B = 0.0945 * 24 = 2.27 \text{ metros}$$

Por tanto, dispondremos de dos mamparos longitudinales a 2.4 metros del casco del buque medidos a altura de la línea de flotación. Este doble casco se extenderá por toda la eslora del buque desde la cámara de máquinas hasta el mamparo de colisión. El doble casco se extenderá hasta una altura de 6.1 metros que es la cubierta situada justo por encima de la línea de flotación. En la zona de cámara de máquinas el doble casco no ocupa toda la eslora correspondiente para que, como ya hemos mencionado previamente, no se inunden las dos cámaras de máquinas en caso de producirse una grieta al casco de 4.424 m y no dificultar las operaciones de ventilación o mantenimiento. En la zona de proa donde el casco no ocupa toda la manga, el doble casco deberá prolongarse de forma que sigue habiendo una distancia superior a 2.27 metros a la altura de la línea de flotación. Además, deberá tenerse en cuenta de que las formas son más finas en proa por lo que la distancia entre el casco exterior y el interior aumenta en esta zona para garantizar que el doble casco alcanza el doble fondo.

El doble casco deberá ir conectado por el doble fondo de forma que se evite la entrada de agua en uno de los costados, la inundación se produce de forma simétrica y no produce una escora que pueda causar una situación de peligro para el pasaje o la tripulación.

También existirá un mamparo longitudinal que separará en dos, por la línea de crujía, el local de los propulsores para garantizar que en caso de avería en uno de los costados haya por lo menos una hélice operativa.

En la siguiente imagen se puede apreciar el doble fondo, la línea de flotación, el doble casco y los mamparos transversales. Aunque en la imagen no se puede apreciar, como ya se ha explicado, también existirá un mamparo longitudinal a crujía entre popa y la cubierta 8 que alcanzará una altura de 8.8 metros sobre la línea base para separar los dos locales de los propulsores.

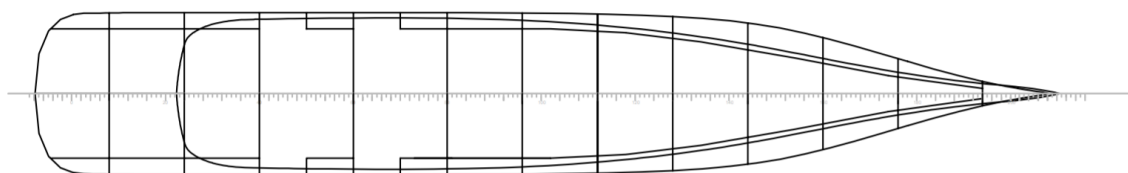


Figura 8: Disposición doble casco

En el Documento Planos se podrá encontrar un plano con el compartimentado obtenido.

5 CAPACIDADES DE LOS TANQUES

En este apartado calcularemos los consumos y necesidades de combustible, aceite, agua dulce, aguas negras y grises, lodos, lastre, así como su disposición en el buque. Estos cálculos han de hacerse en función de la autonomía y de la velocidad previstas del buque, fijadas en la RPA:

- Velocidad de servicio: 16 nudos
- Autonomía: 6000 millas

Un cálculo rápido nos dará el máximo número de días de navegación ininterrumpida para el cual se ha de diseñar el buque:

$$T_{\text{navegación}} = \text{autonomía} / \text{velocidad} = 6000 / 16 = 375 \text{ horas} = 15.625 \text{ día} = 16 \text{ días}$$

5.1 Combustible

Como se indica en la RPA, el buque proyecto utiliza propulsión diésel eléctrica y, por tanto, debemos calcular el volumen necesario de diésel. Para ello, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo DO} = \text{Horas de navegación} * \text{Consumo} (g/kW * h) * \text{Potencia} * \text{Régimen}$$

Las horas de navegación las acabamos de calcular y el consumo del motor lo obtenemos del catálogo del motor preseleccionado que se trata del motor MAN 6L33/44CR, cuyo consumo es de 172 g/kWh a un régimen del 85% MCR. La potencia es de 3600 kW por motor, es decir $4 \times 3600 = 14400$ kW. Finalmente, el consumo de Diésel Oil resultante es:

$$\text{Consumo MDO} = 375 * 172 * 14400 * 0.85 / 10^6 = 789.48 \text{ t}$$

Una vez conocido el peso total del combustible consumido, necesitamos calcular el volumen, asumiendo una densidad del diésel de 0.87 t/m^3 y añadiendo un 10% de margen:

$$V_{\text{MDO}} = m / \rho = 789.48 / 0.87 * 1.1 = 998.2 \text{ m}^3$$

Este volumen se corresponde con el volumen total necesario de combustible que irá repartido en los tanques que expondremos a continuación:

- Tanques de uso diario o de servicio

Las sociedades de clasificación especifican que los tanques de servicio de combustible diésel deben contener un volumen total suficiente para almacenar el combustible necesario para la operación del buque a plena carga durante 8 horas y que debe haber al menos dos tanques a bordo.

Sin embargo, siguiendo las recomendaciones aportadas en la asignatura de “Proyectos del buque y artefactos marinos” se deciden dimensionar para contener combustible suficiente para 24 horas de funcionamiento. Además, también se especifica que debe existir al menos uno por cada cámara de máquinas y que deben de tener una posición elevada:

$$V_{u.d.} = 998.2 / 375 * 24 = 64 \text{ m}^3$$

Se dispondrán por tanto dos tanques de uso diario que deben de tener una capacidad total de 64 m^3 y que se situarán sobre la cubierta 2 para poseer la posición más elevada de los tanques de combustible y poder funcionar así gracias a la acción de la gravedad

- Derrames

Los tanques destinados a los derrames deben contener espacio suficiente para almacenar combustible suficiente para 5 horas de funcionamiento.

$$V_{\text{derrames}} = 998.2 / 375 * 5 = 13.3 \text{ m}^3$$

Se dispondrá por tanto un tanque con capacidad de al menos 13.3 m^3 donde se recogerá el combustible procedente de fugas.

Este tanque irá situado en el doble fondo de ser posible ya que recogerá las fugas gracias a la acción de la gravedad.

- Sedimentación

No se requiere de tanque de sedimentación en MDO dado que se trasiega con la purificadora del tanque almacén a los tanques de servicio directamente.

- Reboses

El tanque de reboses es un tanque opcional. En el buque proyecto no se dispondrán tanques de reboses por lo que se considerará que los tanques irán llenados un 98%.

- Tanques almacén

Contendrán el resto de combustible a bordo

$$V_{\text{almacén}} = 998.2 - 64 - 13.3 = 920.9 \text{ m}^3$$

Los tanques de Diésel Oil irán ubicado a continuación de la cámara de máquinas y a una altura apropiada dependiendo del tipo de tanque:

- Los tanques de uso diario irán colocados sobre el resto en la cubierta 2 (a 6.1 m sobre la línea base)
- Los tanques almacén también deben ir a una altura elevada, en nuestro caso abarcarán una altura desde el doble fondo a la cubierta a 6.1 metros
- Los tanques de derrames irán ubicados en el doble fondo, para que se encuentren por debajo del resto.

Debemos de tener en cuenta que la norma Regla 12A de MARPOL indica que en los buque que tienen más de 600 m^3 de combustible, los tanques con capacidad mayor a 30 m^3 deben encontrarse a una distancia mínima del casco del barco. Para nuestro buque esta distancia:

$$W = 0,4 + 2,4 C/20000$$

Siendo C el volumen total de combustible. Por tanto,

$$W = 0,4 + 2,4 * 998.2/20000 = 0.52 \text{ m}$$

Al disponer de un doble casco de 1.4 metros, los tanques nunca se encontrarán a una distancia igual o menor a 0.52 metros. En la siguiente imagen se puede apreciar una sección transversal de los tanques almacén sobre la cubierta 1 y los tanques de uso diario en la cubierta superior, así como el doble fondo y los mamparos longitudinales.

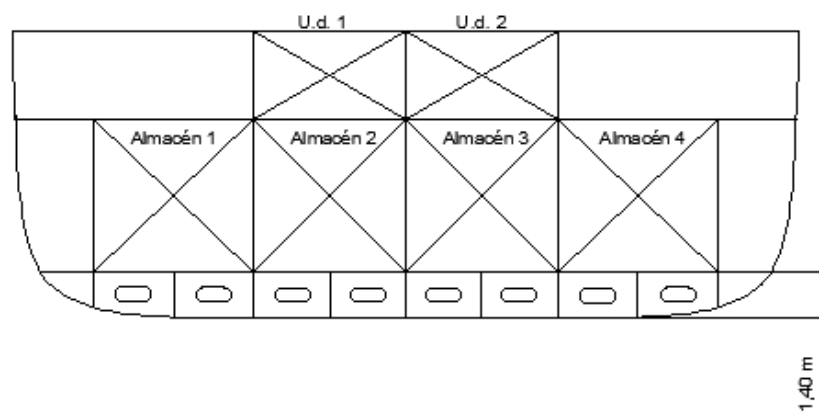


Figura 9: Sección transversal zona estanca

5.2 Aceite

Como se especifica en el catálogo los motores principales son de cárter seco, aunque se puedan fabricar de cárter húmedo a petición del cliente, necesitaremos, en consecuencia, tanques estructurales para que se produzca la recirculación de aceite. Los tanques irán ubicados debajo de cada motor y en ellos debe haber capacidad suficiente para asegurar una buena lubricación. El volumen necesario se puede calcular de la siguiente manera:

$$V_{\text{aceite}} = \text{Consumo de aceite} * \text{Autonomía} + 15\% \text{ de pérdidas}$$

El consumo de aceite lo obtenemos de la guía del motor seleccionado que nos ofrece un consumo de aceite lubricante de 1.8 kg/h para un motor de 6 cilindros. Por tanto, suponiendo una densidad de 920 $[\text{kg/m}^3]$ obtenemos el siguiente resultado para la capacidad de los tanques de aceite:

$$V_{\text{aceite}} = 1.8 \text{ kg/h} * 1/(920 \text{ kg/m}^3) * 375 + 15\% \text{ de pérdidas} = 0.84375 \text{ m}^3$$

Por tanto, se dispondrán cuatro tanques de aceite de lubricación ubicados cada uno debajo de cada grupo generador en el doble fondo. El volumen total de tanques de aceite de lubricante debe de ser al menos de 3.375 m^3 .

5.3 Tanques Misceláneos

- Aguas Aceitosas

El tanque de aguas aceitosas requiere un 2% del volumen de combustible. Es decir,

$$V_{\text{a. aceitosas}} = 998.2 \text{ m}^3 * 0.02 = 20 \text{ m}^3$$

- Lodos

El volumen necesario del tanque de lodos se puede estimar, al igual que el tanque de aguas aceitosas, en un 2% del volumen de combustible, sin embargo, MARPOL nos da una orientación para calcular la capacidad de los tanques de lodos (fangos):

$$V = k * C * D$$

Siendo,

- $K=0.005$ para los buques en los que se utilice diesel oil
- C =consumo diario en toneladas. $C = (789.48 * 1.1)/375 * 24 = 55.6 \text{ tn}$
- D =periodo máximo de travesía entre puertos en que se puedan descargar los fangos que tomaremos igual a la autonomía del buque, igual a 16 días.

$$V = 0.005 * 55.6 * 16 = 4.45 \text{ m}^3$$

Como podemos comprobar los valores obtenidos son muy diferentes (20 m^3 frente a 4.45 m^3). Para asegurarnos de que disponemos de capacidad suficiente tomaremos el volumen del tanque de lodos como 20 m^3 .

5.4 Agua dulce

Para dimensionar los tanques de agua dulce deberemos de tener en cuenta los consumos de agua dulce a bordo. Para estimar dicho consumo podemos tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Consumo Tripulación: $150\text{l/persona} * \text{día}$.
- Consumo Pasaje: $200\text{-}300\text{l/persona} * \text{día}$

La regla UNE-EN ISO 15748 proporciona una estimación del agua dulce consumida por persona a bordo en un día. A continuación, se muestra una tabla resumen:

Tabla 3: Consumo agua dulce

Punto de servicio	Agua fría (l/día)	Agua caliente (l/día)	Cantidad total (l/día)
Lavabos	8	12	20
Duchas y bañeras	55	80	135
Retretes y urinarios	8		8
Cocina	10	15	25
Lavandería	30	60	90
Limpieza	8	12	20
Total/persona	119	179	298

Esto nos permite conocer la cantidad de agua dulce consumida por el pasaje y como ya hemos visto la de la tripulación la estimaremos en 150l/persona*día.

Finalmente,

$$Va. dulce = 298 * 360 + 150 * 90 = 120780 \text{ (l)/día} = 120.78 \text{ m}^3/\text{día}$$

Como el buque cuenta con generadores de agua dulce no es necesario que los tanques dispongan de capacidad para almacenar el volumen de agua total consumido por la tripulación, el pasaje y el agua técnica ya que el agua dulce se podrá ir generando a medida que los tanques se vayan vaciando. Como se verá en el cuaderno 12, se dispondrán de dos generadores de agua dulce capaces de producir 75m³/día de agua dulce cada uno para poder hacer frente a todo el consumo. Se instalan dos en lugar de uno para reducir las posibilidades de que el buque no cuente con ninguno de los dos sistemas operativos y así poder reducir el volumen de los tanques.

Por tanto, para dimensionar los tanques consideraremos la situación más desfavorable que se corresponde con la avería de la planta de generación de agua dulce y la necesidad del buque de navegar empleando únicamente el agua dulce almacenada. Suponiendo que el buque necesita almacenar una capacidad de agua dulce suficiente para poder navegar 5 días sin hacer escala en puerto, la capacidad del tanque de agua dulce se estima en 604 metros cúbicos.

5.5 Aguas grises y negras

Según la norma UNE-EN ISO 15749, que está acorde con Convenio Marpol Anexo IV, el volumen de aguas grises y negras generadas son las siguientes:

- Aguas negras: 25 l/persona*día
- Aguas grises: 185 l/persona*día

Por tanto, el volumen total mínimo de aguas residuales es de 11250 l de aguas negras y 83250 l de aguas grises que equivalen a un total de 11.25m³y 83.25 m³ respectivamente, es decir 95.5 m³en total.

Como veremos en el cuaderno 12, dispondremos de una planta de tratamiento de aguas residuales que será capaz de tratar al menos este volumen de aguas residuales y que nos permitirán descargar a mar las aguas residuales siguiendo el Anexo IV de Marpol que hace referencia a la descarga de aguas negras.

Por tanto, los tanques de aguas residuales se dimensionarán para la situación más desfavorable que es la avería de la planta de tratamiento de aguas residuales y la estancia en puerto o en la navegación cerca de la costa. Considerando que el barco no pueda descargar las aguas al mar en al menos 3 días, el volumen total de aguas grises y negras generadas en ese tiempo es de 383.5 m³, de los cuales 33.75 m³es de aguas negras y 249.75 m³ de aguas grises. Se decide dimensionar estos tanques para un total de 3 días en lugar de 5 en

función de la ruta seguida por el crucero y que no se encontrará un periodo tan largo cerca de la costa y sin parar en puerto.

5.6 Agua de lastre

Necesitaremos suficiente volumen de agua de lastre para garantizar que en cualquier condición de carga, las hélices se encuentran por debajo de la línea de flotación, así como las condiciones de estabilidad y flotabilidad. Al tratarse de un buque de pasaje, el peso muerto representa una fracción pequeña del desplazamiento por lo que el calado no variará notoriamente, como sí ocurre en cargueros o petroleros. El agua de lastre, por tanto, tendrá la función principal de compensar el peso de los consumibles y también se puede emplear para variar el trimado del buque.

Para calcular las toneladas de agua de lastre necesarias, podríamos proceder de la siguiente manera:

- El menor peso que puede tener el buque se corresponde con el peso en rosca que ha sido calculado previamente en el Cuaderno 2:

$$D = 12026.337 \text{ t}$$

- En esta condición el calado del buque resulta:

$$T = \frac{D}{L * B * Cb * \rho} = \frac{12026.337}{145 * 24 * 0.652 * 1.025} = 5.17 \text{ m}$$

En la siguiente imagen se puede apreciar que no es necesario lastrear el buque para que la hélice esté sumergida.

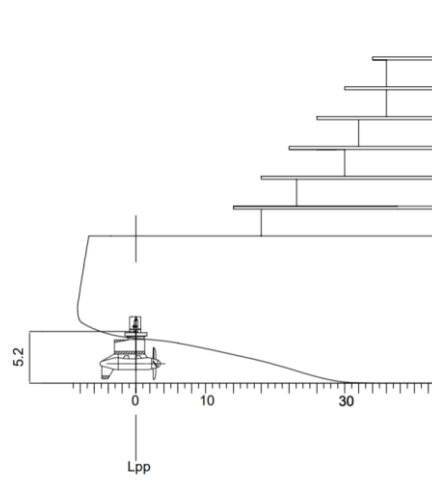


Figura 10: Comprobación hélice sumergida

Sin embargo, si nos fijamos en el buque de referencia de The Ritz-Carlton Yacht Collection, podemos observar que cuenta con tanques de lastre con una capacidad para 2450 m³. Por tanto, basándonos en este hecho, optamos por dotar a nuestros buques de tanques cuya capacidad justifiaremos a continuación.

Como el buque no necesitará lastre para garantizar que la hélice navegue sumergida el volumen de agua de lastre ha de ser tal que sea capaz de compensar el peso perdido debido al consumo del combustible y del agua dulce.

Es decir, la capacidad total de los tanques de agua de lastre ha de ser al menos:

$$V_{lastre} = V_{MDO} + V_{aceite} = 604 \text{ m}^3 + 998.2 \text{ m}^3 + 3.375 \text{ m}^3 = 1605.575 \text{ m}^3$$

A continuación, se muestra un resumen de las capacidades mínimas que han de cumplir los tanques estructurales:

Tabla 4: Capacidad mínima de los tanques

		Volumen necesario (m ³)
Combustible	Almacén	920,9
	Uso diario	64
	Derrames	13,3
Aceite		3,375
Tanques Misceláneos	Aguas aceitosas	20
	Lodos	20
Agua dulce		604
Aguas grises		249,75
Aguas negras		33,75
Lastre		1606

6 DISPOSICIÓN DE LOS TANQUES

Se puede encontrar en el plano de compartimentado la distribución final de los tanques, para la cual se ha tenido en cuenta los requisitos de capacidades, así como la reglamentación mencionada previamente (SOLAS y MARPOL). Todos los extremos de los tanques se han hecho coincidir con bulárcamas y se ha tenido en cuenta que los tanques del doble fondo que contienen hidrocarburos no pueden tener una capacidad superior a 30m^3 y en total no pueden sumar más de 600.

A continuación, se muestra una tabla con los tanques y sus capacidades correspondientes:

Tabla 5: Capacidad tanques

Tanque	Capacidad (m^3)
Almacén 1	253,809
Almacén 2	241,428
Almacén 3	241,428
Almacén 4	253,809
Uso diario 1	34,673
Uso diario 2	34,673
Derrames	17,951
Lodos	26,108
Aguas aceitosas	26,108
Aceite 1	4,725
Aceite 2	4,725
Aceite 3	4,725
Aceite 4	4,725
Agua dulce 1	154,762
Agua dulce 2	154,762
Agua dulce 3	154,762
Agua dulce 4	154,762
Aguas grises	286,309
Aguas negras	69,643
Lastre 1	101,659
Lastre 2	101,659
Lastre 3	95,506
Lastre 4	95,506
Lastre 5	73,128
Lastre 6	73,128
Lastre 7	67,613
Lastre 8	67,613
Lastre 9	61,798
Lastre 10	358,787
Lastre 11	358,787
Lastre 12	205,326

Como se puede ver a continuación cumplimos con las capacidades que se han establecido como necesarias previamente:

Tabla 6: Comparación del volumen necesario y real de los tanques

		Volumen necesario (m ³)	Volumen real (m ³)
Combustible	Almacén	920,9	990,474
	Uso diario	64	69,346
	Derrames	13,3	17,951
Aceite		3,375	18,9
Tanques Misceláneos	Aguas aceitosas	20	26,108
	Lodos	20	26,108
Agua dulce		604	619,048
Aguas grises		249,75	286,309
Aguas negras		33,75	69,643
Lastre		1605,575	1660,51

En los Anexos podemos encontrar las cuervas correspondientes al calibrado de los tanques llevado a cabo a través del software Maxsurf Stability, así como planos de su disposición en el buque.

7 CÁLCULO DE HIDROSTÁTICAS

Utilizando el Software previamente descrito, calculamos las tablas hidrostáticas para distintos asientos, para ello seguimos el método descrito a continuación:

En primer lugar, fijamos el calado mínimo. El calado mínimo fijado se corresponderá con 5.2 metros que es el calado del buque para el peso en rosca calculado en el cuaderno 2 (12026,3374 t) y el coeficiente de bloque hallado mediante la definición de las formas en el Cuaderno 3. El calado máximo lo fijaremos al calado de diseño que se corresponde con el calado del buque a plena carga, es decir 6 metros.

Posteriormente estudiaremos distintos trimados desde -1,5 metros a +1.5 metros.

A continuación, se muestran las tablas y resultados obtenidos:

Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

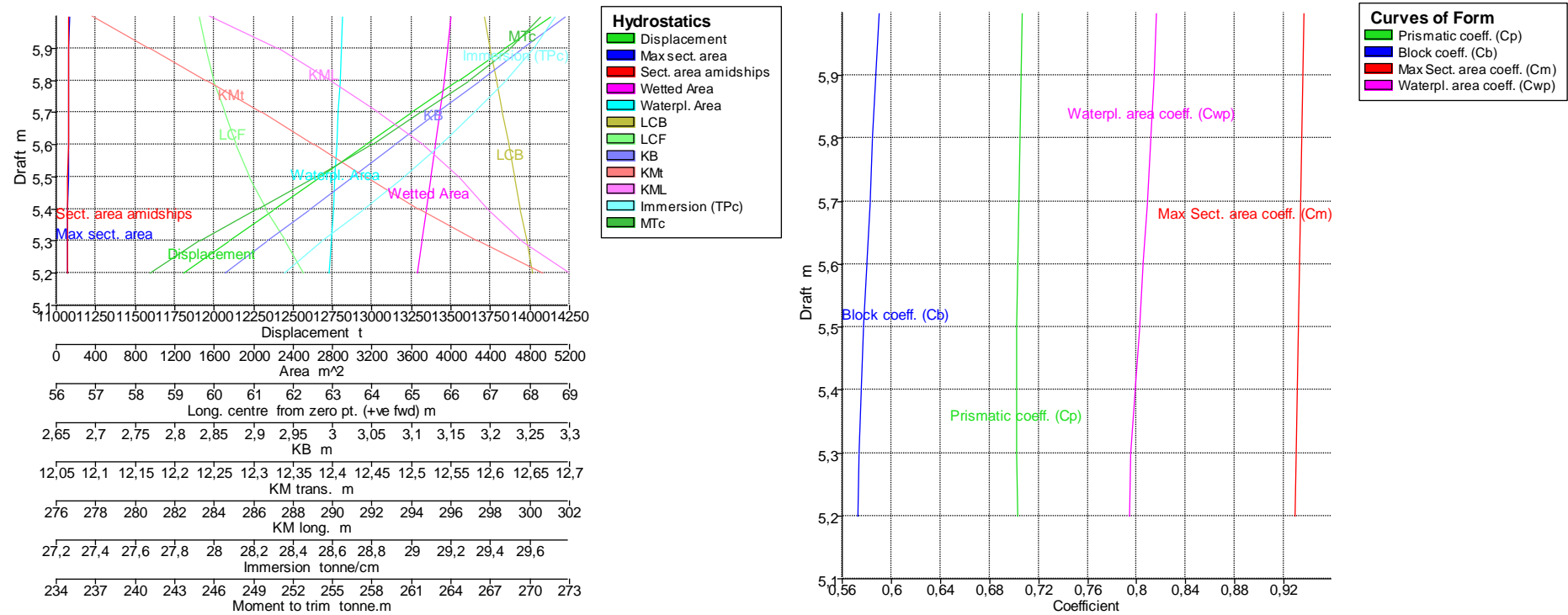
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = -1,5 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Displacement t	11810	12095	12382	12670	12961	13253	13547	13843	14140
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	5,950	6,050	6,150	6,250	6,350	6,450	6,550	6,650	6,750
Draft at AP m	4,450	4,550	4,650	4,750	4,850	4,950	5,050	5,150	5,250
Draft at LCF m	5,094	5,189	5,284	5,380	5,477	5,573	5,671	5,768	5,867
Trim (+ve by stern) m	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500	-1,500
WL Length m	145,617	146,246	146,686	147,032	147,320	147,569	147,788	147,986	148,178
Beam max extents on WL m	23,930	23,940	23,949	23,957	23,965	23,971	23,977	23,983	23,988
Wetted Area m ²	3655,292	3703,315	3751,611	3798,500	3842,609	3884,704	3925,759	3965,224	4001,502
Waterpl. Area m ²	2766,292	2785,254	2805,442	2825,620	2844,005	2860,417	2875,716	2889,418	2899,906
Prismatic coeff. (Cp)	0,703	0,702	0,702	0,702	0,703	0,704	0,705	0,706	0,707
Block coeff. (Cb)	0,573	0,574	0,575	0,578	0,580	0,582	0,585	0,588	0,590
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,929	0,930	0,931	0,932	0,933	0,934	0,935	0,936	0,937
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,794	0,796	0,799	0,802	0,806	0,809	0,812	0,814	0,816
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	68,053	67,912	67,765	67,613	67,459	67,303	67,147	66,992	66,839
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	62,270	61,795	61,325	60,905	60,563	60,271	60,006	59,782	59,631
KB m	2,864	2,918	2,971	3,025	3,079	3,133	3,187	3,241	3,295
KG m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
BMt m	9,802	9,665	9,538	9,416	9,297	9,177	9,053	8,927	8,799
BML m	299,146	296,687	294,892	293,381	291,527	289,224	286,758	283,983	280,447
GMt m	6,713	6,630	6,558	6,492	6,428	6,364	6,296	6,226	6,153
GML m	296,056	293,653	291,913	290,457	288,659	286,411	284,000	281,282	277,801
KMt m	12,666	12,582	12,509	12,441	12,375	12,309	12,240	12,168	12,094
KML m	301,994	299,589	297,848	296,391	294,591	292,342	289,929	287,209	283,727
Immersion (TPc) tonne/cm	28,354	28,549	28,756	28,963	29,151	29,319	29,476	29,617	29,724
MTc tonne.m	241,142	244,946	249,264	253,803	258,016	261,784	265,339	268,532	270,894
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1383,619	1399,562	1417,179	1435,626	1454,077	1472,012	1488,608	1504,069	1518,438
Max deck inclination deg	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,5927	-0,5927	-0,5927	-0,5927	-0,5927	-0,5927	-0,5927	-0,5927	-0,5927



Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

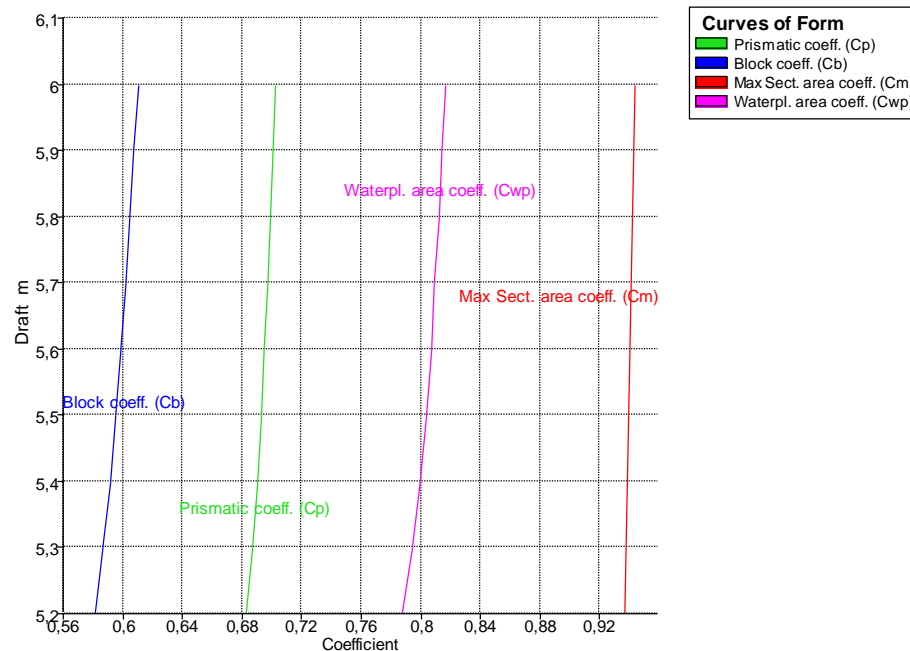
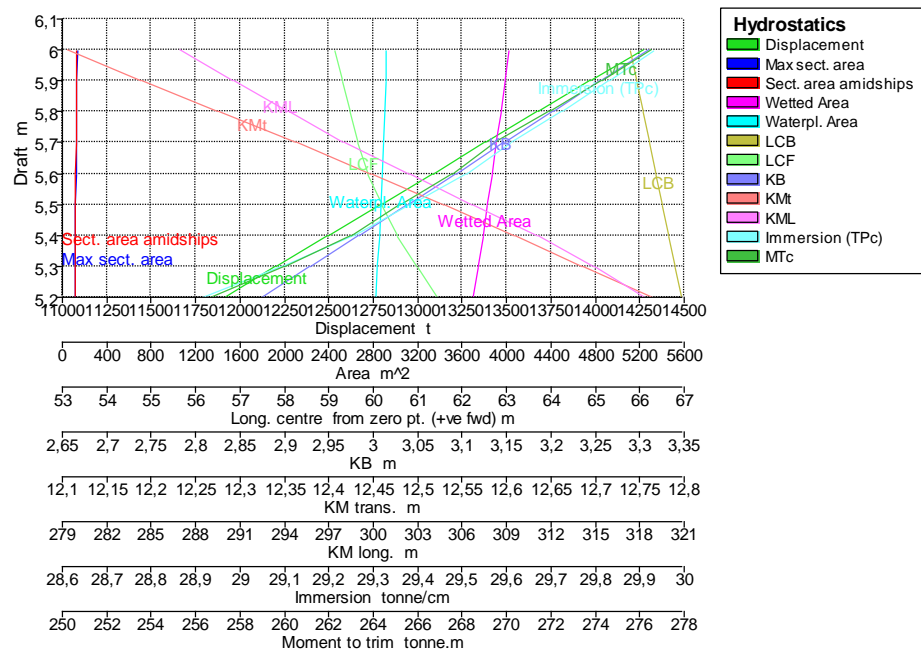
Model file: C:\Users\luci_OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = -1 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Displacement t	11916	12206	12498	12791	13085	13381	13678	13976	14274
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	5,700	5,800	5,900	6,000	6,100	6,200	6,300	6,400	6,500
Draft at AP m	4,700	4,800	4,900	5,000	5,100	5,200	5,300	5,400	5,500
Draft at LCF m	5,124	5,220	5,318	5,415	5,513	5,611	5,710	5,809	5,908
Trim (+ve by stern) m	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000
WL Length m	149,679	149,201	148,951	148,868	148,851	148,874	148,932	149,013	149,109
Beam max extents on WL m	23,939	23,947	23,956	23,964	23,971	23,976	23,982	23,988	23,991
Wetted Area m ²	3693,402	3741,027	3787,176	3830,117	3871,836	3909,412	3947,333	3984,349	4020,830
Waterpl. Area m ²	2821,018	2838,458	2854,195	2866,809	2879,013	2888,786	2900,080	2910,542	2920,492
Prismatic coeff. (Cp)	0,682	0,687	0,690	0,693	0,695	0,697	0,699	0,701	0,702
Block coeff. (Cb)	0,582	0,587	0,591	0,595	0,598	0,602	0,605	0,608	0,610
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,937	0,938	0,938	0,939	0,940	0,941	0,942	0,943	0,943
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,787	0,794	0,800	0,804	0,807	0,809	0,812	0,814	0,816
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	66,943	66,807	66,665	66,521	66,375	66,228	66,084	65,941	65,800
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	61,427	60,971	60,546	60,193	59,876	59,667	59,472	59,302	59,149
KB m	2,875	2,930	2,984	3,039	3,093	3,148	3,202	3,257	3,311
KG m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
BMt m	9,889	9,756	9,625	9,491	9,353	9,214	9,072	8,932	8,794
BML m	315,431	311,963	308,124	303,594	299,334	294,788	291,050	287,284	283,557
GMt m	6,802	6,725	6,649	6,571	6,489	6,405	6,319	6,234	6,152
GML m	312,345	308,932	305,149	300,674	296,469	291,980	288,297	284,586	280,915
KMt m	12,763	12,685	12,608	12,529	12,447	12,362	12,274	12,188	12,105
KML m	318,299	314,885	311,101	306,625	302,420	297,929	294,246	290,534	286,862
Immersion (TPc) tonne/cm	28,915	29,094	29,255	29,385	29,510	29,610	29,726	29,833	29,935
MTc tonne.m	256,674	260,050	263,007	265,231	267,544	269,448	271,949	274,293	276,546
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1414,546	1432,554	1450,258	1466,826	1481,947	1495,835	1508,449	1520,546	1532,502
Max deck inclination deg	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,3951	-0,3951	-0,3951	-0,3951	-0,3951	-0,3951	-0,3951	-0,3951	-0,3951



Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100);

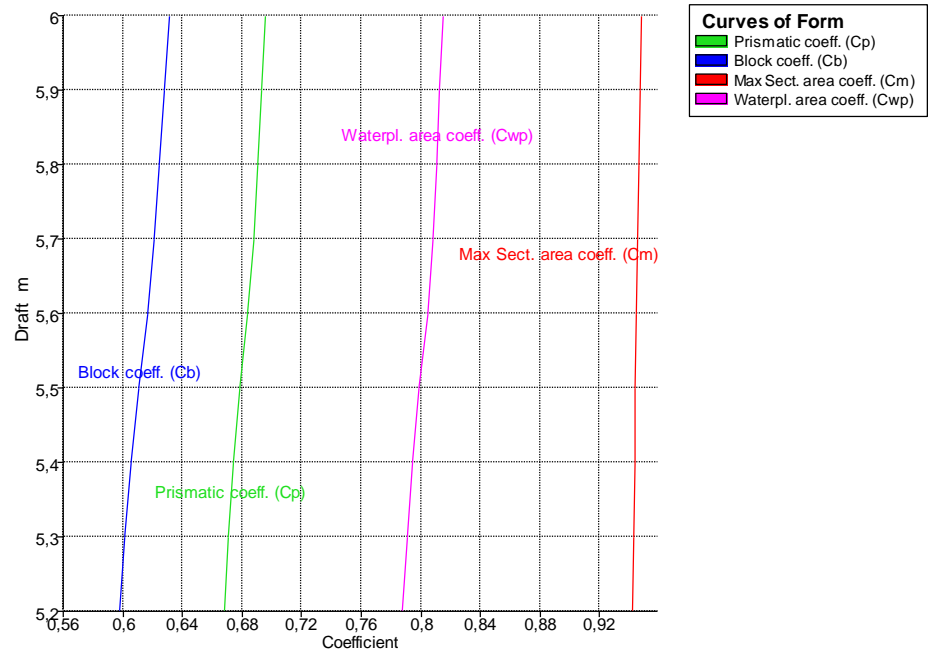
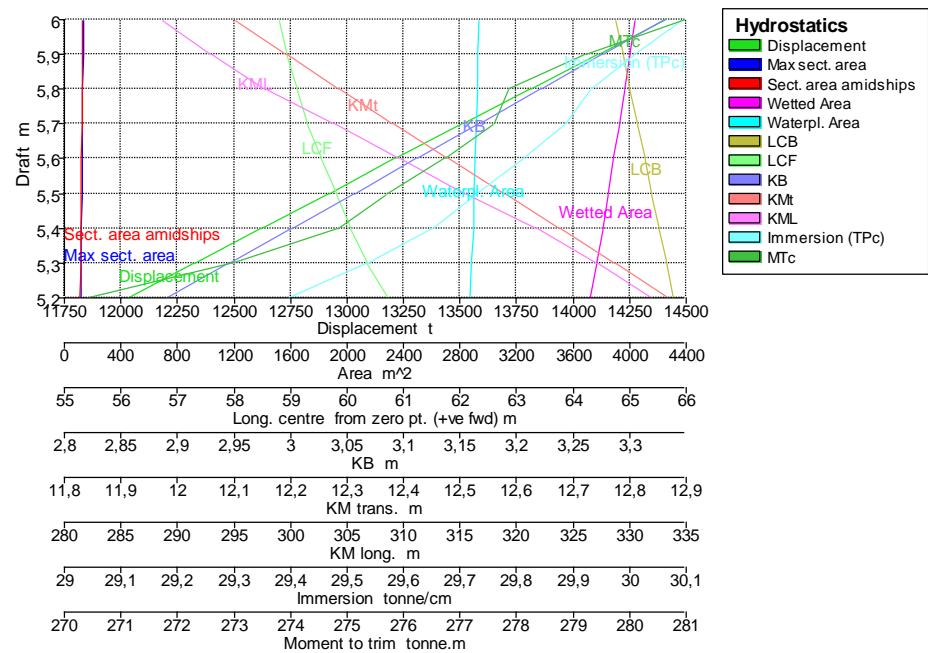
Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = -0,5 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Displacement t	12031	12326	12622	12919	13216	13515	13814	14114	14414
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	5,450	5,550	5,650	5,750	5,850	5,950	6,050	6,150	6,250
Draft at AP m	4,950	5,050	5,150	5,250	5,350	5,450	5,550	5,650	5,750
Draft at LCF m	5,159	5,258	5,357	5,456	5,555	5,654	5,754	5,853	5,953
Trim (+ve by stern) m	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500
WL Length m	152,167	152,146	151,956	151,485	150,737	150,411	150,240	150,152	150,112
Beam max extents on WL m	23,947	23,955	23,963	23,970	23,976	23,982	23,987	23,991	23,994
Wetted Area m ²	3725,115	3768,450	3810,287	3848,854	3888,319	3927,044	3962,630	3999,343	4034,959
Waterpl. Area m ²	2867,938	2881,549	2892,904	2900,475	2908,514	2915,746	2920,333	2927,832	2935,990
Prismatic coeff. (Cp)	0,668	0,671	0,674	0,678	0,684	0,688	0,691	0,693	0,696
Block coeff. (Cb)	0,598	0,601	0,605	0,611	0,617	0,621	0,625	0,628	0,631
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,942	0,943	0,943	0,944	0,945	0,946	0,946	0,947	0,948
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,787	0,791	0,794	0,799	0,805	0,808	0,810	0,813	0,815
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	65,779	65,654	65,526	65,398	65,269	65,140	65,011	64,884	64,758
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	60,716	60,374	60,060	59,815	59,548	59,297	59,119	58,935	58,802
KB m	2,891	2,946	3,002	3,057	3,112	3,167	3,222	3,277	3,332
KG m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
BMt m	9,977	9,827	9,675	9,521	9,365	9,213	9,063	8,914	8,769
BML m	329,002	324,147	318,728	312,371	306,482	300,643	294,405	289,572	285,308
GMt m	6,891	6,797	6,701	6,602	6,503	6,406	6,311	6,217	6,127
GML m	325,916	321,117	315,754	309,453	303,619	297,836	291,653	286,875	282,667
KMt m	12,868	12,773	12,677	12,578	12,478	12,380	12,285	12,191	12,100
KML m	331,891	327,092	321,728	315,426	309,592	303,809	297,626	292,847	288,638
Immersion (TPc) tonne/cm	29,396	29,536	29,652	29,730	29,812	29,886	29,933	30,010	30,094
MTc tonne.m	270,417	272,962	274,849	275,701	276,739	277,600	277,855	279,234	280,996
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1446,912	1462,159	1476,136	1488,560	1499,884	1510,916	1521,477	1531,397	1541,424
Max deck inclination deg	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976
Trim angle (+ve by stern) deg	-0,1976	-0,1976	-0,1976	-0,1976	-0,1976	-0,1976	-0,1976	-0,1976	-0,1976



Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

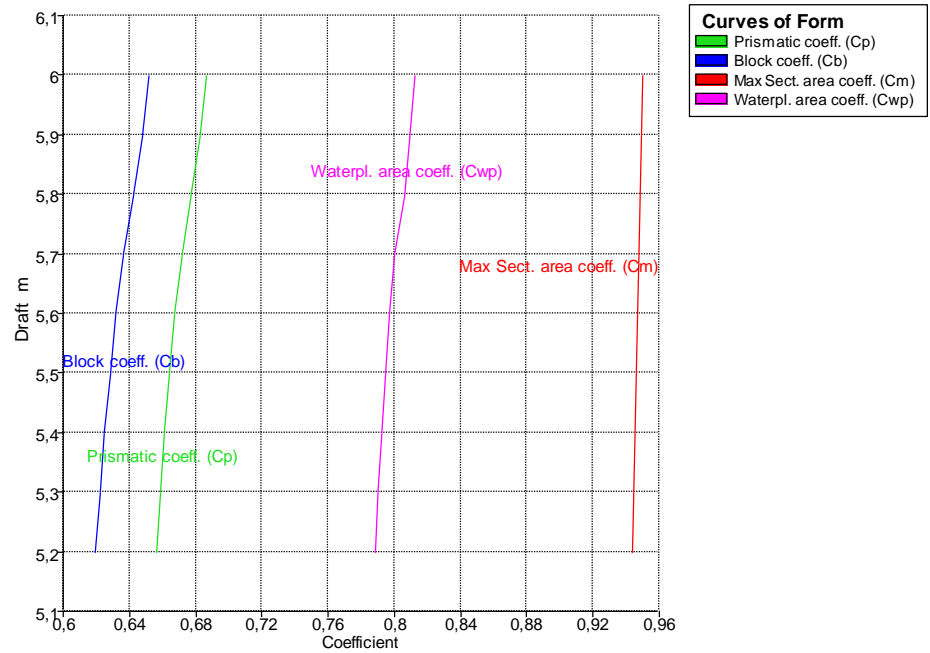
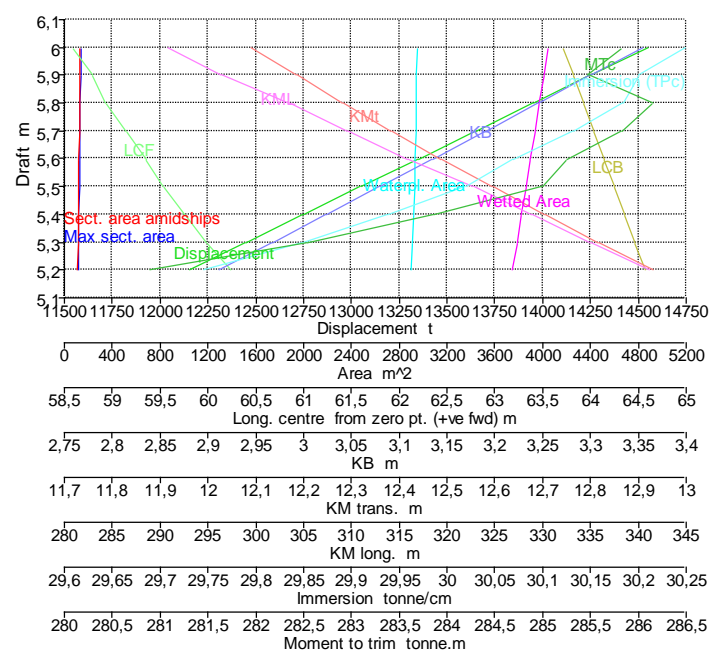
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = 0 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Displacement t	12154	12452	12751	13051	13351	13652	13954	14256	14558
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Draft at AP m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Draft at LCF m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
WL Length m	153,698	153,737	153,739	153,661	153,473	153,105	152,281	151,672	151,349
Beam max extents on WL m	23,956	23,965	23,972	23,977	23,983	23,988	23,992	23,994	23,997
Wetted Area m ²	3745,903	3785,520	3824,605	3863,022	3899,016	3936,781	3974,194	4008,410	4045,608
Waterpl. Area m ²	2902,035	2912,052	2920,872	2928,778	2933,607	2939,673	2944,823	2946,351	2951,172
Prismatic coeff. (Cp)	0,656	0,659	0,661	0,664	0,668	0,672	0,678	0,683	0,686
Block coeff. (Cb)	0,619	0,622	0,625	0,628	0,632	0,636	0,642	0,648	0,652
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,944	0,944	0,945	0,946	0,947	0,947	0,948	0,949	0,950
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,788	0,790	0,793	0,795	0,797	0,800	0,806	0,810	0,813
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	64,577	64,471	64,363	64,254	64,147	64,039	63,931	63,822	63,716
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	60,239	59,988	59,752	59,530	59,357	59,142	58,933	58,789	58,584
KB m	2,912	2,968	3,024	3,080	3,135	3,191	3,246	3,301	3,356
KG m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
BMt m	10,019	9,848	9,680	9,515	9,351	9,191	9,035	8,882	8,732
BML m	338,203	332,049	325,787	319,575	312,660	306,387	300,104	293,056	287,330
GMt m	6,931	6,817	6,705	6,595	6,486	6,382	6,281	6,183	6,088
GML m	335,115	329,017	322,811	316,655	309,795	303,577	297,350	290,358	284,687
KMt m	12,931	12,817	12,704	12,594	12,486	12,382	12,281	12,183	12,088
KML m	341,115	335,017	328,811	322,655	315,795	309,577	303,350	296,358	290,687
Immersion (TPc) tonne/cm	29,746	29,849	29,939	30,020	30,069	30,132	30,184	30,200	30,250
MTc tonne.m	280,894	282,544	283,871	285,006	285,249	285,827	286,149	285,470	285,830
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1470,190	1481,384	1491,988	1502,035	1511,375	1520,615	1529,616	1538,339	1546,832
Max deck inclination deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000



Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

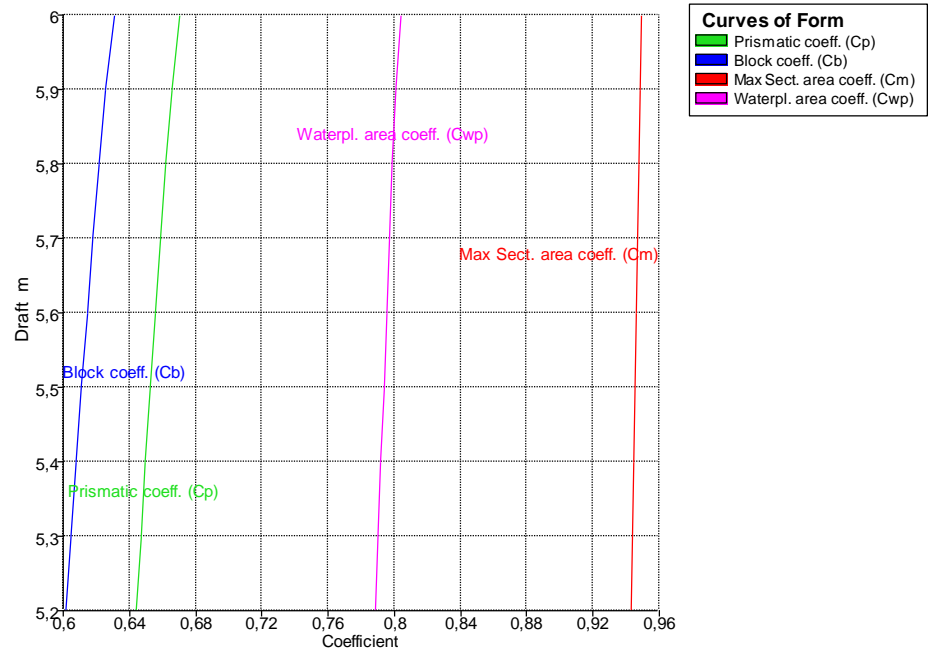
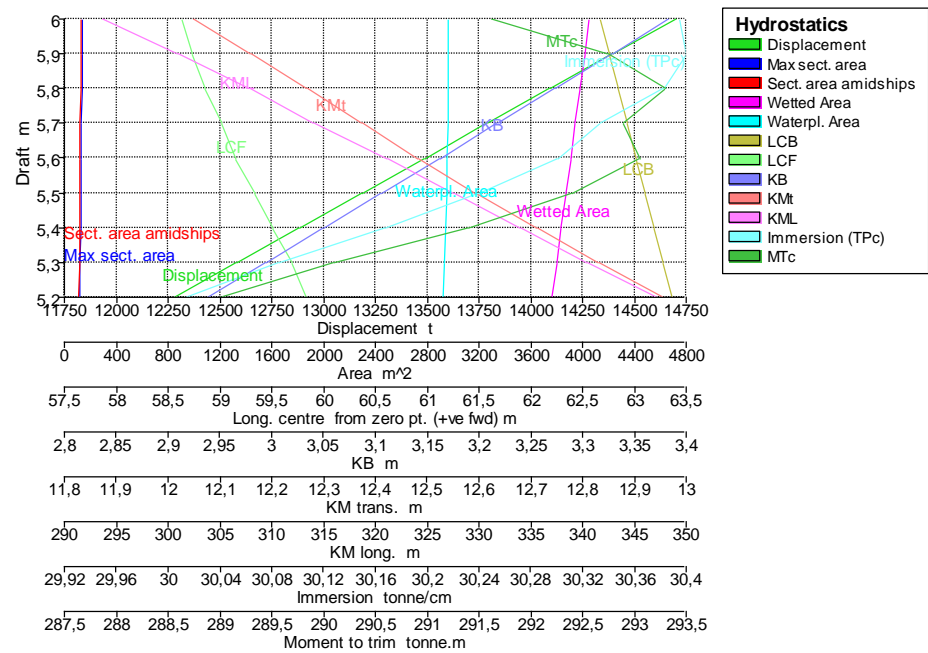
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = 0,5 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Displacement t	12282	12583	12884	13186	13489	13792	14096	14400	14704
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	4,950	5,050	5,150	5,250	5,350	5,450	5,550	5,650	5,750
Draft at AP m	5,450	5,550	5,650	5,750	5,850	5,950	6,050	6,150	6,250
Draft at LCF m	5,244	5,344	5,445	5,545	5,646	5,746	5,847	5,947	6,048
Trim (+ve by stern) m	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
WL Length m	154,947	154,986	154,990	154,961	154,921	154,817	154,626	154,300	153,679
Beam max extents on WL m	23,968	23,973	23,979	23,985	23,990	23,993	23,997	24,000	24,000
Wetted Area m ²	3762,119	3798,058	3835,475	3872,527	3909,513	3944,214	3980,648	4015,362	4048,955
Waterpl. Area m ²	2928,224	2935,253	2943,226	2950,207	2956,247	2959,384	2964,223	2965,849	2965,393
Prismatic coeff. (Cp)	0,644	0,647	0,650	0,653	0,655	0,658	0,662	0,665	0,671
Block coeff. (Cb)	0,602	0,605	0,608	0,611	0,614	0,618	0,622	0,626	0,631
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,943	0,944	0,944	0,945	0,946	0,947	0,948	0,948	0,949
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,788	0,790	0,792	0,794	0,795	0,797	0,799	0,801	0,804
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,358	63,273	63,187	63,101	63,014	62,928	62,842	62,757	62,673
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,835	59,700	59,517	59,338	59,156	59,025	58,855	58,729	58,637
KB m	2,938	2,995	3,051	3,107	3,163	3,218	3,274	3,329	3,384
KG m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
BMt m	10,016	9,836	9,659	9,487	9,319	9,154	8,994	8,829	8,662
BML m	344,279	337,336	330,927	324,452	317,891	310,747	304,476	297,476	290,223
GMt m	6,923	6,799	6,678	6,561	6,449	6,340	6,234	6,125	6,013
GML m	341,186	334,299	327,946	321,527	315,021	307,932	301,717	294,772	287,574
KMt m	12,955	12,831	12,710	12,594	12,482	12,372	12,267	12,158	12,047
KML m	347,215	340,329	333,976	327,557	321,051	313,963	307,748	300,803	293,606
Immersion (TPc) tonne/cm	30,014	30,086	30,168	30,240	30,302	30,334	30,383	30,400	30,395
MTc tonne.m	289,007	290,101	291,402	292,396	293,057	292,901	293,306	292,734	291,616
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1484,089	1493,115	1501,648	1510,009	1518,230	1526,014	1533,674	1539,250	1543,034
Max deck inclination deg	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976
Trim angle (+ve by stern) deg	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976	0,1976



Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

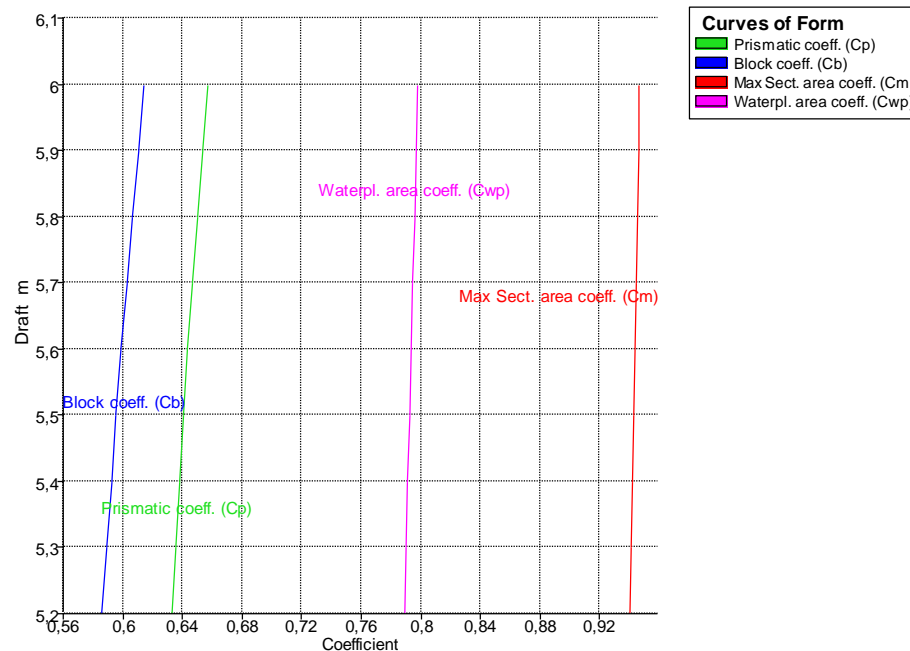
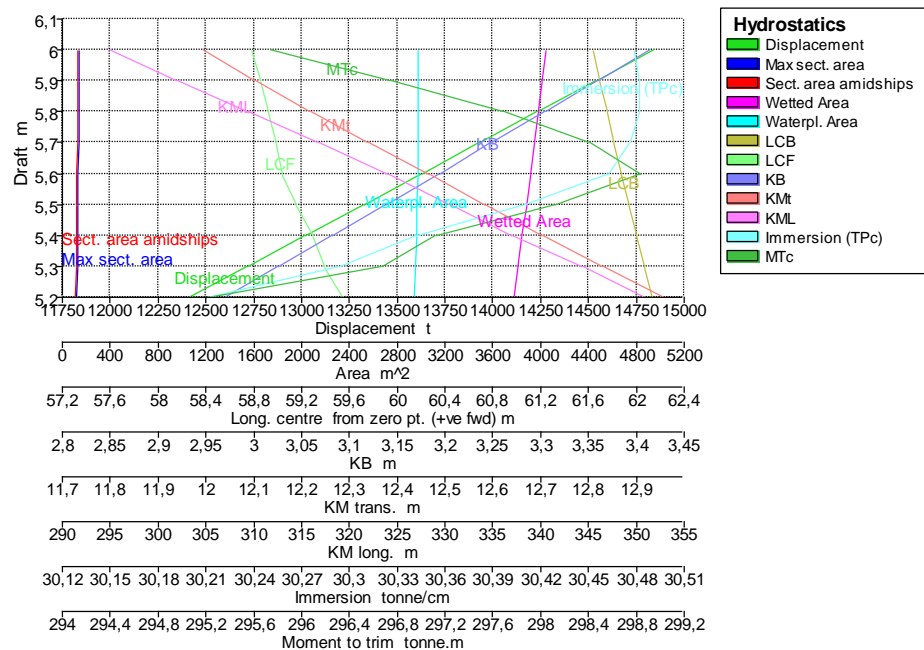
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = 1 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Displacement t	12415	12718	13021	13325	13629	13934	14239	14544	14848
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	4,700	4,800	4,900	5,000	5,100	5,200	5,300	5,400	5,500
Draft at AP m	5,700	5,800	5,900	6,000	6,100	6,200	6,300	6,400	6,500
Draft at LCF m	5,289	5,390	5,491	5,592	5,693	5,793	5,894	5,994	6,095
Trim (+ve by stern) m	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
WL Length m	155,839	155,957	156,023	156,036	156,009	155,894	155,717	155,491	155,219
Beam max extents on WL m	23,976	23,982	23,988	23,993	23,997	24,000	24,000	24,002	24,003
Wetted Area m ²	3772,827	3809,691	3843,982	3880,591	3915,803	3948,921	3982,029	4015,359	4048,694
Waterpl. Area m ²	2947,479	2955,499	2960,215	2966,787	2971,934	2973,327	2973,881	2973,826	2973,498
Prismatic coeff. (Cp)	0,633	0,635	0,638	0,641	0,643	0,647	0,650	0,653	0,657
Block coeff. (Cb)	0,586	0,589	0,592	0,596	0,599	0,603	0,606	0,610	0,614
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,940	0,941	0,942	0,942	0,943	0,944	0,945	0,946	0,947
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,789	0,790	0,791	0,792	0,794	0,795	0,796	0,797	0,798
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	62,132	62,069	62,005	61,942	61,878	61,816	61,754	61,694	61,635
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,542	59,397	59,302	59,153	59,045	58,985	58,924	58,856	58,787
KB m	2,969	3,026	3,082	3,138	3,194	3,250	3,305	3,361	3,416
KG m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
BMt m	9,988	9,802	9,621	9,444	9,270	9,088	8,911	8,740	8,576
BML m	347,902	341,299	333,864	327,343	320,803	313,341	305,911	298,558	291,449
GMt m	6,886	6,756	6,631	6,510	6,391	6,264	6,142	6,027	5,917
GML m	344,800	338,253	330,874	324,408	317,924	310,517	303,143	295,844	288,790
KMt m	12,957	12,828	12,703	12,582	12,464	12,338	12,216	12,101	11,991
KML m	350,863	344,317	336,938	330,473	323,989	316,583	309,209	301,911	294,858
Immersion (TPc) tonne/cm	30,212	30,294	30,342	30,410	30,462	30,477	30,482	30,482	30,478
MTc tonne.m	295,227	296,680	297,127	298,118	298,833	298,396	297,682	296,734	295,731
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1492,011	1499,595	1506,894	1513,888	1520,206	1523,369	1526,413	1529,714	1533,325
Max deck inclination deg	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951
Trim angle (+ve by stern) deg	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951	0,3951



Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

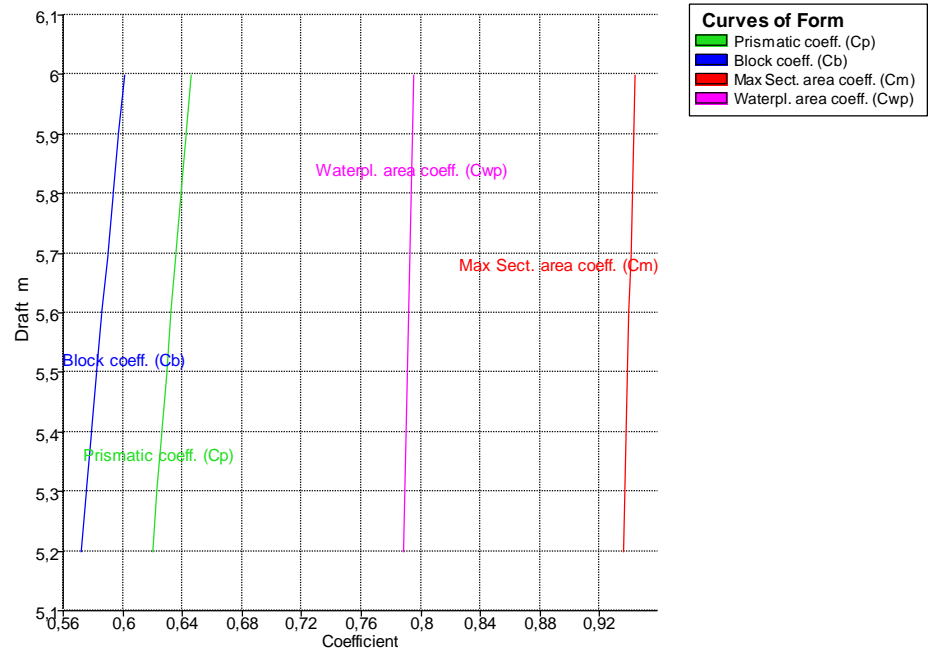
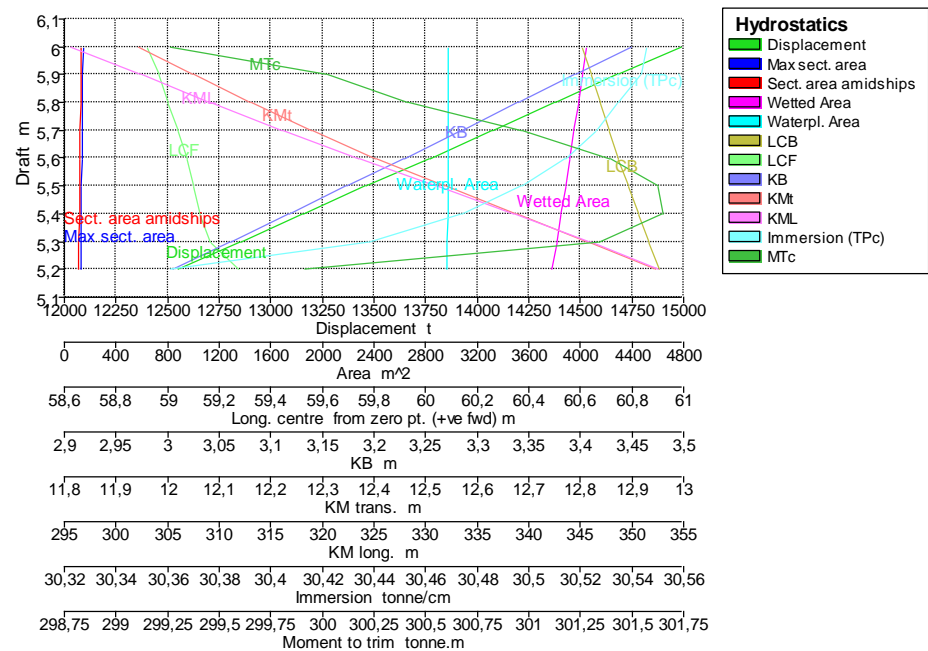
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = 1,5 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	5,200	5,300	5,400	5,500	5,600	5,700	5,800	5,900	6,000
Displacement t	12552	12856	13161	13466	13771	14076	14381	14687	14992
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	4,450	4,550	4,650	4,750	4,850	4,950	5,050	5,150	5,250
Draft at AP m	5,950	6,050	6,150	6,250	6,350	6,450	6,550	6,650	6,750
Draft at LCF m	5,337	5,438	5,538	5,639	5,739	5,839	5,940	6,040	6,140
Trim (+ve by stern) m	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
WL Length m	156,612	156,749	156,785	156,724	156,608	156,478	156,365	156,207	156,007
Beam max extents on WL m	23,986	23,993	23,997	24,000	24,000	24,002	24,004	24,006	24,010
Wetted Area m ²	3781,584	3817,599	3850,820	3883,779	3916,780	3949,834	3982,879	4015,736	4048,614
Waterpl. Area m ²	2962,072	2969,549	2973,087	2975,363	2977,032	2978,189	2978,976	2979,880	2980,037
Prismatic coeff. (Cp)	0,620	0,623	0,626	0,629	0,632	0,636	0,639	0,642	0,646
Block coeff. (Cb)	0,572	0,575	0,579	0,582	0,586	0,590	0,594	0,597	0,601
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,936	0,937	0,938	0,939	0,940	0,941	0,942	0,943	0,943
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,789	0,790	0,790	0,791	0,792	0,793	0,794	0,795	0,796
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	60,905	60,865	60,826	60,787	60,750	60,713	60,677	60,642	60,607
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,274	59,165	59,127	59,103	59,075	59,039	59,000	58,969	58,920
KB m	3,005	3,062	3,118	3,174	3,229	3,285	3,340	3,395	3,450
KG m	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
BMt m	9,941	9,752	9,557	9,362	9,175	8,994	8,820	8,652	8,491
BML m	349,569	342,930	335,353	327,747	320,246	312,868	305,674	298,928	292,106
GMt m	6,827	6,694	6,554	6,415	6,283	6,157	6,038	5,925	5,818
GML m	346,455	339,871	332,351	324,800	317,354	310,031	302,892	296,201	289,434
KMt m	12,946	12,813	12,674	12,536	12,404	12,278	12,160	12,047	11,940
KML m	352,556	345,973	338,453	330,903	323,459	316,136	308,998	302,307	295,541
Immersion (TPc) tonne/cm	30,361	30,438	30,474	30,497	30,515	30,526	30,535	30,544	30,545
MTc tonne.m	299,913	301,339	301,653	301,628	301,391	300,963	300,411	300,013	299,256
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1495,542	1501,836	1505,449	1507,651	1509,987	1512,581	1515,483	1518,724	1522,325
Max deck inclination deg	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927
Trim angle (+ve by stern) deg	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927	0,5927



8 CÁLCULO DE CURVAS DE BRAZOS ADRIZANTES

En este apartado, al igual que en el cálculo de la hidrostáticas, emplearemos el Software “Stability Enterprise” de Maxsurf para calcular las curvas de brazos adrizantes. Como hemos hecho previamente obtendremos las curvas KN para un rango de calados entre 5.2 y 6 metros y para diferentes trimados entre -1.5 y 1.5 metros.

En relación a los ángulos de escora empleados, abarcarán desde 5° a 40° variando de 5 en 5 grados y hasta los 70° de 10 en 10°.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

KN calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

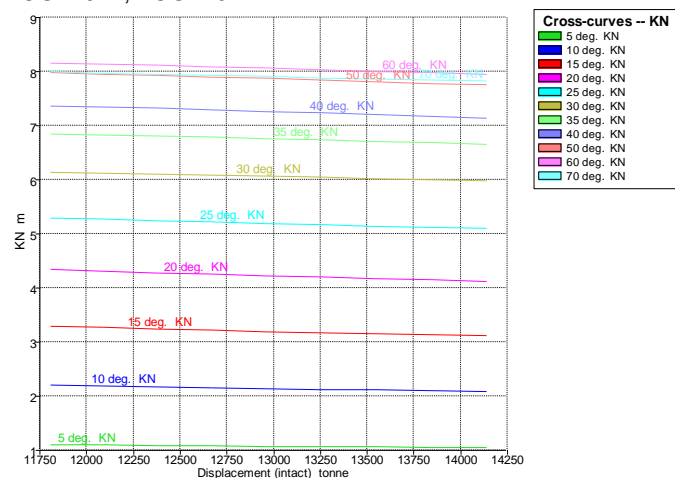
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Initial Trim = -1,5 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

VCG = 0 m; TCG = 0 m

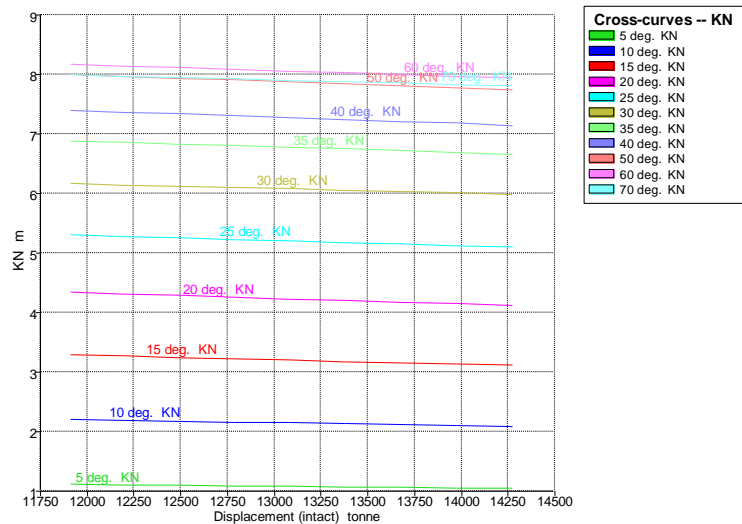


Displacement (intact) tonne	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 5,0 deg. Starb.	KN 10,0 deg. Starb.	KN 15,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 25,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.	KN 35,0 deg. Starb.	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.
11810	5,200	-1,500	68,082	0,000	0,000	1,107	2,208	3,293	4,339	5,300	6,146	6,850	7,368	7,980	8,161	7,992
12095	5,300	-1,500	67,941	0,000	0,000	1,099	2,191	3,267	4,309	5,272	6,127	6,829	7,345	7,954	8,137	7,972
12382	5,400	-1,500	67,795	0,000	0,000	1,091	2,175	3,243	4,280	5,246	6,106	6,807	7,320	7,928	8,113	7,951
12670	5,500	-1,500	67,644	0,000	0,000	1,084	2,159	3,219	4,252	5,219	6,086	6,785	7,294	7,901	8,087	7,930
12961	5,600	-1,500	67,490	0,000	0,000	1,077	2,144	3,196	4,225	5,194	6,065	6,761	7,266	7,873	8,061	7,909
13253	5,700	-1,500	67,335	0,000	0,000	1,070	2,129	3,175	4,198	5,169	6,044	6,736	7,238	7,844	8,035	7,887
13547	5,800	-1,500	67,180	0,000	0,000	1,064	2,115	3,154	4,173	5,144	6,022	6,710	7,208	7,813	8,007	7,865
13843	5,900	-1,500	67,026	0,000	0,000	1,058	2,102	3,134	4,148	5,121	5,999	6,682	7,177	7,782	7,979	7,843
14140	6,000	-1,500	66,873	0,000	0,000	1,051	2,089	3,114	4,124	5,097	5,975	6,651	7,145	7,750	7,951	7,820

KN calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)
Damage Case - Intact

Initial Trim = -1 m (+ve by stern)
Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m^3)
VCG = 0 m; TCG = 0 m



Displacement (intact) tonne	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 5,0 deg. Starb.	KN 10,0 deg. Starb.	KN 15,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 25,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.	KN 35,0 deg. Starb.	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.
11916	5,200	-1,000	66,963	0,000	0,000	1,113	2,215	3,300	4,347	5,313	6,166	6,876	7,393	7,993	8,167	7,992
12206	5,300	-1,000	66,826	0,000	0,000	1,104	2,197	3,273	4,316	5,284	6,145	6,854	7,367	7,965	8,141	7,970
12498	5,400	-1,000	66,685	0,000	0,000	1,096	2,180	3,248	4,286	5,256	6,124	6,831	7,339	7,936	8,114	7,948
12791	5,500	-1,000	66,541	0,000	0,000	1,089	2,164	3,223	4,257	5,229	6,102	6,806	7,310	7,906	8,087	7,926
13085	5,600	-1,000	66,396	0,000	0,000	1,081	2,148	3,200	4,229	5,202	6,081	6,780	7,280	7,876	8,059	7,903
13381	5,700	-1,000	66,249	0,000	0,000	1,074	2,133	3,178	4,202	5,176	6,058	6,752	7,248	7,844	8,029	7,880
13678	5,800	-1,000	66,106	0,000	0,000	1,067	2,119	3,157	4,176	5,151	6,035	6,722	7,215	7,811	8,001	7,856
13976	5,900	-1,000	65,963	0,000	0,000	1,060	2,105	3,136	4,150	5,126	6,011	6,691	7,181	7,778	7,971	7,833
14274	6,000	-1,000	65,823	0,000	0,000	1,053	2,091	3,116	4,126	5,102	5,985	6,658	7,146	7,743	7,941	7,809

KN calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

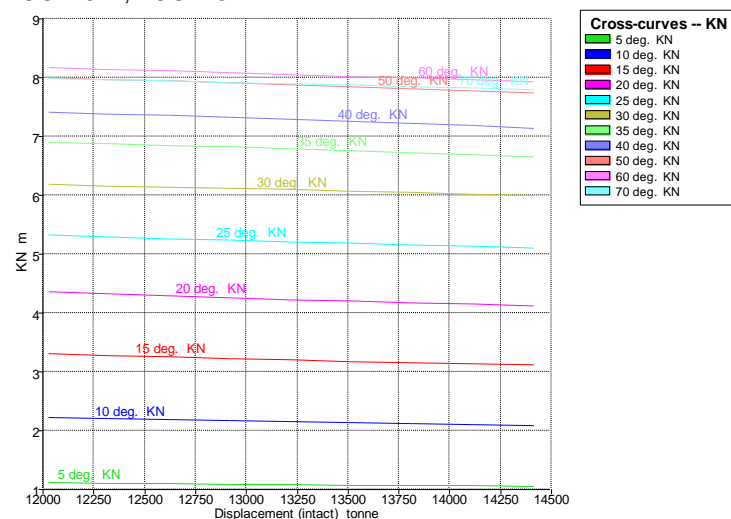
Model file: C:\Users\luci_OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Initial Trim = -0,5 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

VCG = 0 m; TCG = 0 m



Displacement (intact) tonne	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 5,0 deg. Starb.	KN 10,0 deg. Starb.	KN 15,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 25,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.	KN 35,0 deg. Starb.	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.
12031	5,200	-0,500	65,789	0,000	0,000	1,118	2,221	3,305	4,354	5,325	6,186	6,902	7,416	8,004	8,171	7,991
12326	5,300	-0,500	65,663	0,000	0,000	1,109	2,202	3,278	4,322	5,295	6,163	6,878	7,386	7,974	8,143	7,968
12622	5,400	-0,500	65,536	0,000	0,000	1,101	2,185	3,252	4,291	5,266	6,141	6,852	7,355	7,942	8,114	7,945
12919	5,500	-0,500	65,408	0,000	0,000	1,093	2,168	3,227	4,261	5,237	6,118	6,824	7,323	7,909	8,085	7,921
13216	5,600	-0,500	65,279	0,000	0,000	1,084	2,152	3,203	4,232	5,209	6,095	6,795	7,289	7,876	8,055	7,897
13515	5,700	-0,500	65,150	0,000	0,000	1,076	2,136	3,180	4,205	5,182	6,071	6,763	7,255	7,842	8,024	7,872
13814	5,800	-0,500	65,022	0,000	0,000	1,069	2,121	3,158	4,178	5,156	6,046	6,731	7,219	7,806	7,993	7,848
14114	5,900	-0,500	64,895	0,000	0,000	1,061	2,106	3,137	4,152	5,131	6,020	6,697	7,182	7,770	7,961	7,823
14414	6,000	-0,500	64,770	0,000	0,000	1,053	2,092	3,117	4,127	5,106	5,993	6,661	7,144	7,734	7,929	7,796

KN calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

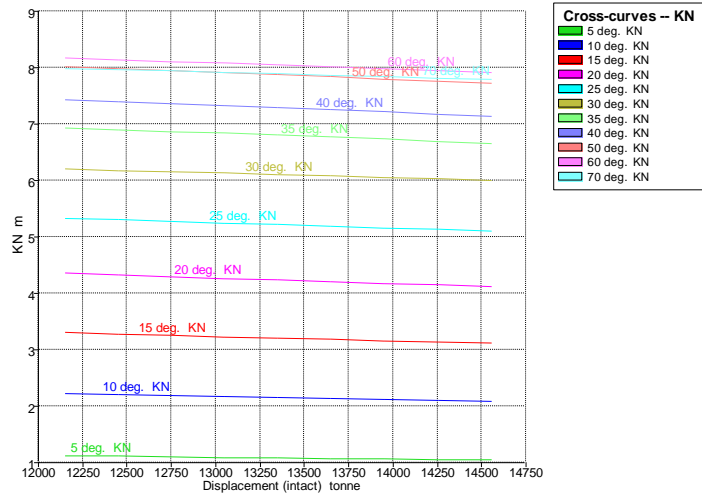
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Initial Trim = 0 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m^3)

VCG = 0 m; TCG = 0 m

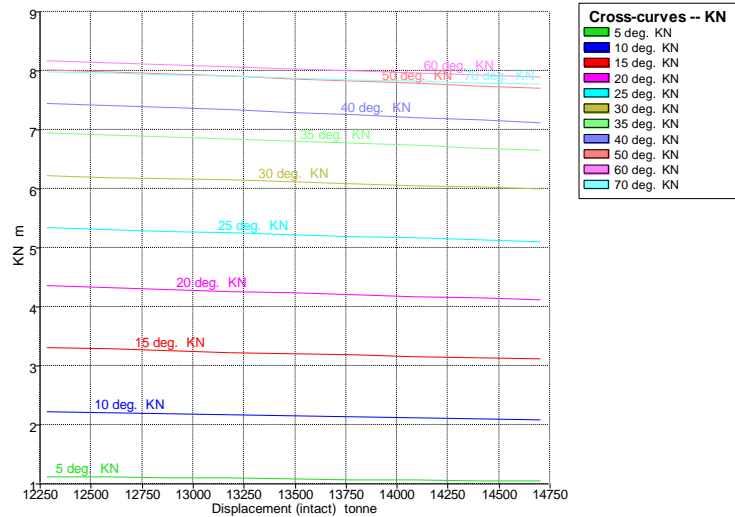


Displacement (intact) tonne	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 5,0 deg. Starb.	KN 10,0 deg. Starb.	KN 15,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 25,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.	KN 35,0 deg. Starb.	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.
12154	5,200	0,000	64,577	0,000	0,000	1,123	2,226	3,310	4,360	5,336	6,205	6,926	7,435	8,013	8,174	7,989
12452	5,300	0,000	64,470	0,000	0,000	1,113	2,207	3,282	4,327	5,305	6,181	6,898	7,402	7,980	8,143	7,965
12751	5,400	0,000	64,363	0,000	0,000	1,104	2,188	3,255	4,295	5,274	6,157	6,869	7,368	7,945	8,112	7,940
13051	5,500	0,000	64,254	0,000	0,000	1,095	2,171	3,230	4,265	5,245	6,133	6,838	7,332	7,910	8,080	7,914
13351	5,600	0,000	64,147	0,000	0,000	1,086	2,154	3,205	4,235	5,216	6,108	6,805	7,295	7,873	8,048	7,889
13652	5,700	0,000	64,039	0,000	0,000	1,077	2,137	3,182	4,207	5,188	6,083	6,771	7,258	7,837	8,016	7,863
13954	5,800	0,000	63,930	0,000	0,000	1,068	2,122	3,159	4,179	5,161	6,055	6,735	7,219	7,799	7,983	7,837
14256	5,900	0,000	63,822	0,000	0,000	1,060	2,107	3,138	4,153	5,134	6,027	6,698	7,179	7,761	7,949	7,811
14558	6,000	0,000	63,716	0,000	0,000	1,052	2,092	3,117	4,128	5,109	5,996	6,660	7,138	7,721	7,915	7,785

KN calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131
Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)
Damage Case - Intact

Initial Trim = 0,5 m (+ve by stern)
Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m^3)
VCG = 0 m; TCG = 0 m



Displacement (intact) tonne	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 5,0 deg. Starb.	KN 10,0 deg. Starb.	KN 15,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 25,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.	KN 35,0 deg. Starb.	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.
12282	5,200	0,500	63,348	0,000	0,000	1,126	2,229	3,313	4,365	5,346	6,223	6,945	7,450	8,019	8,174	7,986
12583	5,300	0,500	63,262	0,000	0,000	1,115	2,210	3,285	4,331	5,314	6,198	6,914	7,414	7,983	8,141	7,960
12884	5,400	0,500	63,176	0,000	0,000	1,105	2,191	3,258	4,299	5,282	6,173	6,881	7,377	7,945	8,108	7,934
13186	5,500	0,500	63,090	0,000	0,000	1,095	2,172	3,232	4,267	5,252	6,147	6,847	7,338	7,907	8,075	7,907
13489	5,600	0,500	63,003	0,000	0,000	1,085	2,155	3,207	4,237	5,222	6,119	6,811	7,298	7,869	8,040	7,880
13792	5,700	0,500	62,917	0,000	0,000	1,076	2,138	3,183	4,208	5,193	6,090	6,773	7,257	7,829	8,006	7,853
14096	5,800	0,500	62,831	0,000	0,000	1,067	2,121	3,160	4,180	5,165	6,060	6,735	7,215	7,789	7,972	7,826
14400	5,900	0,500	62,745	0,000	0,000	1,058	2,106	3,138	4,153	5,138	6,028	6,695	7,172	7,748	7,936	7,798
14704	6,000	0,500	62,661	0,000	0,000	1,049	2,090	3,116	4,128	5,111	5,995	6,654	7,129	7,707	7,900	7,771

KN calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

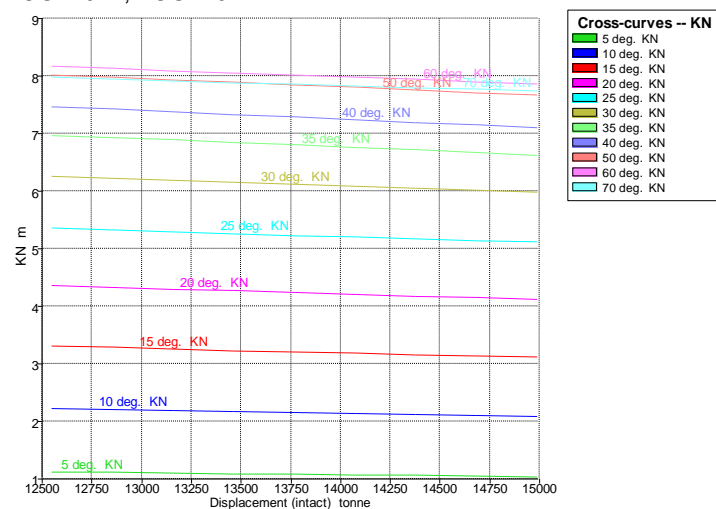
Model file: C:\Users\luci_OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Initial Trim = 1,5 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

VCG = 0 m; TCG = 0 m



Displacement (intact) tonne	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 5,0 deg. Starb.	KN 10,0 deg. Starb.	KN 15,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 25,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.	KN 35,0 deg. Starb.	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.
12552	5,200	1,500	60,874	0,000	0,000	1,125	2,232	3,316	4,370	5,362	6,255	6,967	7,467	8,020	8,166	7,975
12856	5,300	1,500	60,834	0,000	0,000	1,113	2,211	3,287	4,335	5,327	6,225	6,930	7,424	7,978	8,129	7,946
13161	5,400	1,500	60,793	0,000	0,000	1,102	2,190	3,259	4,302	5,294	6,193	6,890	7,380	7,936	8,092	7,917
13466	5,500	1,500	60,754	0,000	0,000	1,091	2,171	3,232	4,269	5,262	6,161	6,850	7,336	7,893	8,055	7,888
13771	5,600	1,500	60,716	0,000	0,000	1,081	2,152	3,206	4,238	5,231	6,127	6,808	7,290	7,849	8,018	7,858
14076	5,700	1,500	60,679	0,000	0,000	1,071	2,134	3,181	4,209	5,200	6,092	6,765	7,243	7,805	7,980	7,829
14381	5,800	1,500	60,642	0,000	0,000	1,061	2,116	3,157	4,180	5,171	6,056	6,720	7,196	7,761	7,941	7,800
14687	5,900	1,500	60,607	0,000	0,000	1,052	2,100	3,134	4,153	5,143	6,018	6,675	7,148	7,715	7,902	7,770
14992	6,000	1,500	60,571	0,000	0,000	1,043	2,084	3,112	4,126	5,114	5,980	6,629	7,099	7,670	7,864	7,741

ANEXO IV.I: CALIBRADO DE LOS TANQUES

Tank Calibrations - Buque crucero para 360 pasajeros

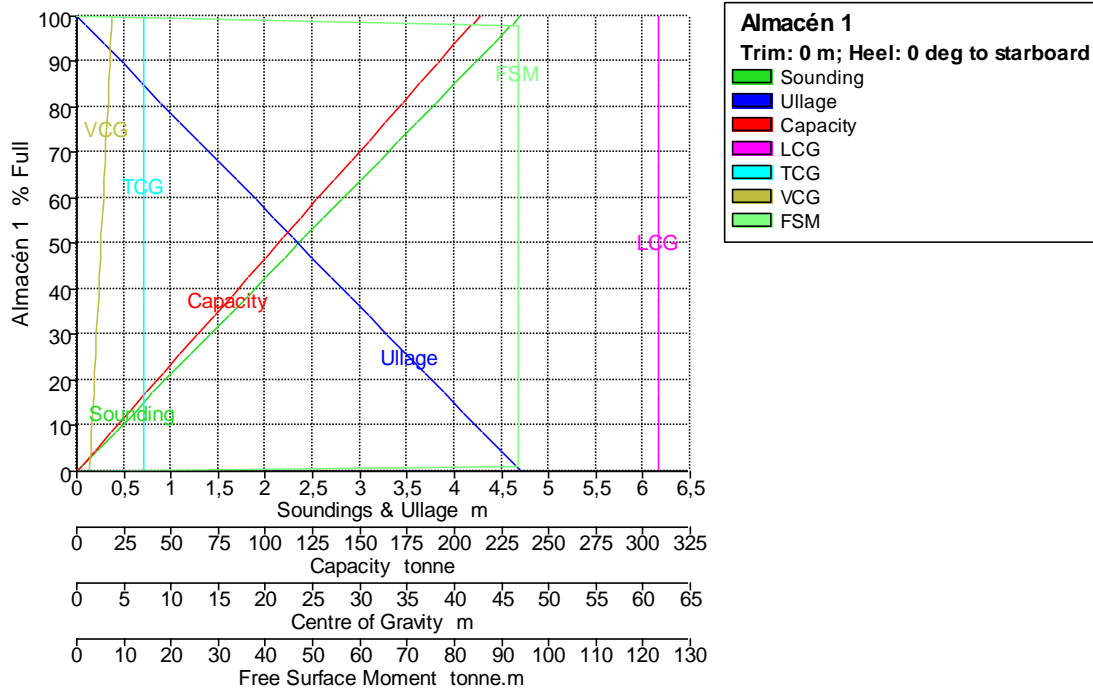
Stability 22.01.00.131, build: 131

8.1.1.1 Tank Calibrations - Almacén 1

Fluid Type = Diesel Specific gravity = 0,84

Permeability = 98 %

Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard

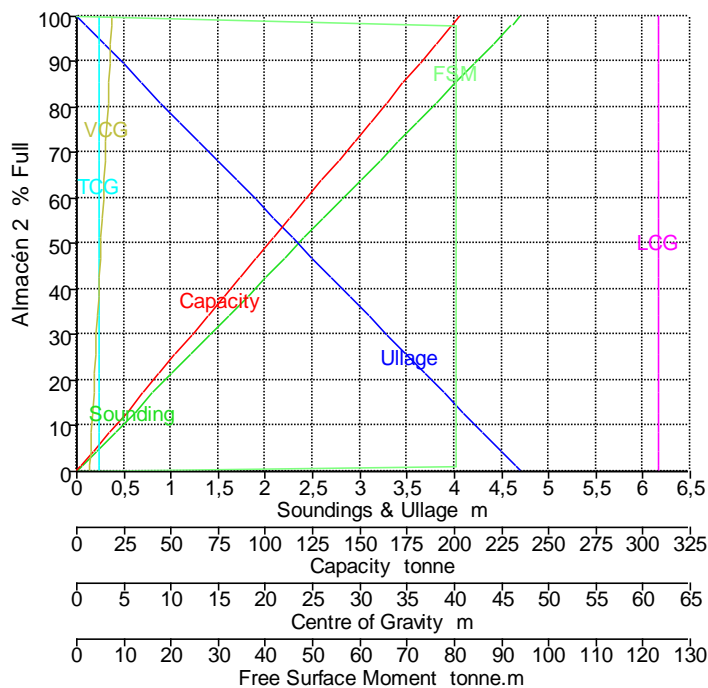


Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Almacén 1	4,700	0,000	100,000	253,809	213,200	61,600	7,140	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	248,733	208,936	61,600	7,140	3,703	93,371
	4,601	0,099	97,900	248,479	208,722	61,600	7,140	3,701	93,371
	4,600	0,100	97,872	248,409	208,663	61,600	7,140	3,700	93,371
	4,400	0,300	93,617	237,608	199,591	61,600	7,140	3,600	93,371
	4,200	0,500	89,362	226,808	190,519	61,600	7,140	3,500	93,371
	4,000	0,700	85,106	216,008	181,446	61,600	7,140	3,400	93,371
	3,800	0,900	80,851	205,207	172,374	61,600	7,140	3,300	93,371
	3,600	1,100	76,596	194,407	163,302	61,600	7,140	3,200	93,371
	3,400	1,300	72,340	183,606	154,229	61,600	7,140	3,100	93,371
	3,200	1,500	68,085	172,806	145,157	61,600	7,140	3,000	93,371
	3,000	1,700	63,830	162,006	136,085	61,600	7,140	2,900	93,371
	2,800	1,900	59,574	151,205	127,012	61,600	7,140	2,800	93,371
	2,600	2,100	55,319	140,405	117,940	61,600	7,140	2,700	93,371
	2,400	2,300	51,064	129,605	108,868	61,600	7,140	2,600	93,371
	2,200	2,500	46,809	118,804	99,796	61,600	7,140	2,500	93,371
	2,000	2,700	42,553	108,004	90,723	61,600	7,140	2,400	93,371
	1,800	2,900	38,298	97,203	81,651	61,600	7,140	2,300	93,371
	1,600	3,100	34,043	86,403	72,579	61,600	7,140	2,200	93,371
	1,400	3,300	29,787	75,603	63,506	61,600	7,140	2,100	93,371
	1,200	3,500	25,532	64,802	54,434	61,600	7,140	2,000	93,371

Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
	1,000	3,700	21,277	54,002	45,362	61,600	7,140	1,900	93,371
	0,800	3,900	17,021	43,202	36,289	61,600	7,140	1,800	93,371
	0,600	4,100	12,766	32,401	27,217	61,600	7,140	1,700	93,371
	0,400	4,300	8,511	21,601	18,145	61,600	7,140	1,600	93,371
	0,200	4,500	4,255	10,800	9,072	61,600	7,140	1,500	93,371
	0,047	4,653	1,000	2,538	2,132	61,600	7,140	1,424	93,371
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	61,600	7,140	1,400	0,000

Tank Calibrations - Almacén 2

Fluid Type = Diesel Specific gravity = 0,84
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Almacén 2
Trim: 0 m; Heel: 0 deg to starboard

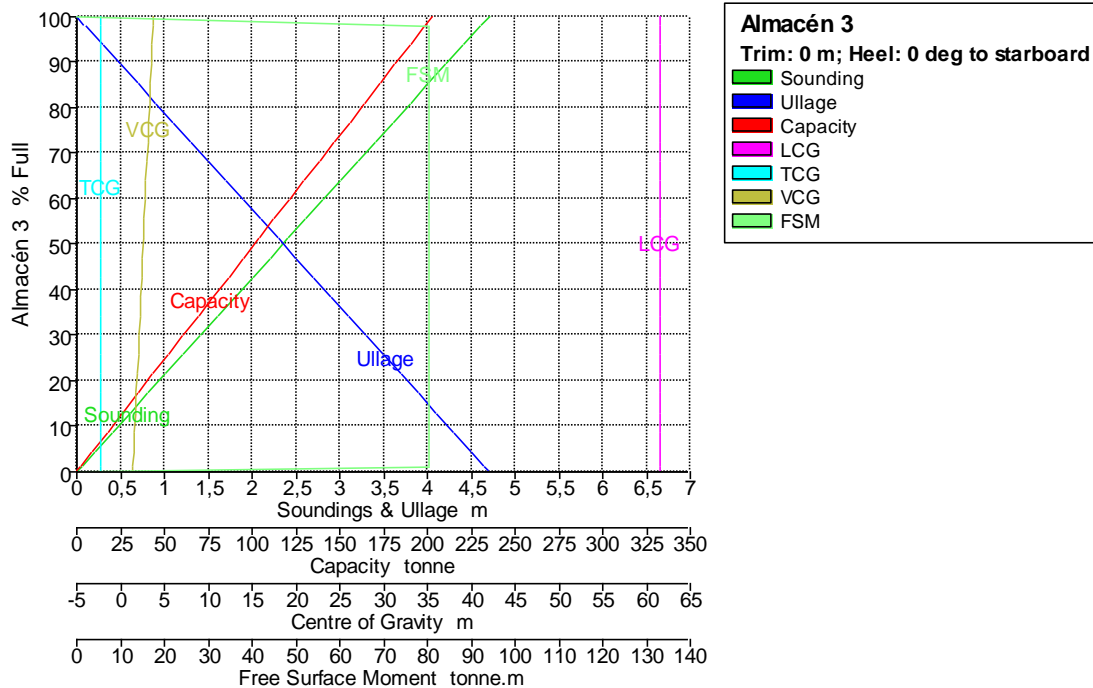
- Sounding
- Ullage
- Capacity
- LCG
- TCG
- VCG
- FSM

Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Almacén 2	4,700	0,000	100,000	241,428	202,800	61,600	2,340	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	236,599	198,744	61,600	2,340	3,703	80,363
	4,601	0,099	97,900	236,358	198,541	61,600	2,340	3,701	80,363
	4,600	0,100	97,872	236,291	198,485	61,600	2,340	3,700	80,363
	4,400	0,300	93,617	226,018	189,855	61,600	2,340	3,600	80,363
	4,200	0,500	89,362	215,744	181,225	61,600	2,340	3,500	80,363
	4,000	0,700	85,106	205,471	172,595	61,600	2,340	3,400	80,363
	3,800	0,900	80,851	195,197	163,966	61,600	2,340	3,300	80,363
	3,600	1,100	76,596	184,924	155,336	61,600	2,340	3,200	80,363
	3,400	1,300	72,340	174,650	146,706	61,600	2,340	3,100	80,363
	3,200	1,500	68,085	164,377	138,076	61,600	2,340	3,000	80,363
	3,000	1,700	63,830	154,103	129,447	61,600	2,340	2,900	80,363
	2,800	1,900	59,574	143,829	120,817	61,600	2,340	2,800	80,363
	2,600	2,100	55,319	133,556	112,187	61,600	2,340	2,700	80,363
	2,400	2,300	51,064	123,282	103,557	61,600	2,340	2,600	80,363
	2,200	2,500	46,809	113,009	94,927	61,600	2,340	2,500	80,363
	2,000	2,700	42,553	102,735	86,298	61,600	2,340	2,400	80,363
	1,800	2,900	38,298	92,462	77,668	61,600	2,340	2,300	80,363
	1,600	3,100	34,043	82,188	69,038	61,600	2,340	2,200	80,363

Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
	1,400	3,300	29,787	71,915	60,408	61,600	2,340	2,100	80,363
	1,200	3,500	25,532	61,641	51,779	61,600	2,340	2,000	80,363
	1,000	3,700	21,277	51,368	43,149	61,600	2,340	1,900	80,363
	0,800	3,900	17,021	41,094	34,519	61,600	2,340	1,800	80,363
	0,600	4,100	12,766	30,821	25,889	61,600	2,340	1,700	80,363
	0,400	4,300	8,511	20,547	17,260	61,600	2,340	1,600	80,363
	0,200	4,500	4,255	10,274	8,630	61,600	2,340	1,500	80,363
	0,047	4,653	1,000	2,414	2,028	61,600	2,340	1,424	80,363
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	61,600	2,340	1,400	0,000

Tank Calibrations - Almacén 3

Fluid Type = Diesel Specific gravity = 0,84
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard

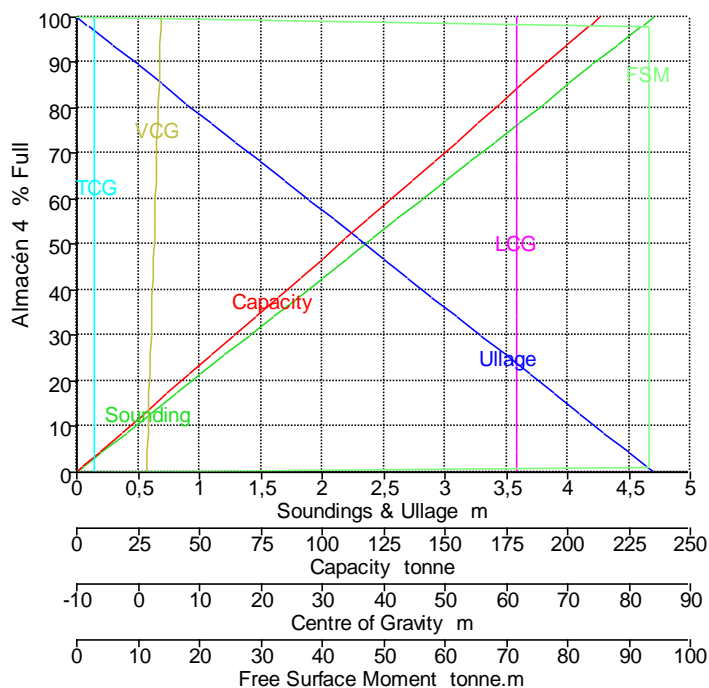


Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Almacén 3	4,700	0,000	100,000	241,428	202,800	61,600	-2,340	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	236,599	198,744	61,600	-2,340	3,703	80,363
	4,601	0,099	97,900	236,358	198,541	61,600	-2,340	3,701	80,363
	4,600	0,100	97,872	236,291	198,485	61,600	-2,340	3,700	80,363
	4,400	0,300	93,617	226,018	189,855	61,600	-2,340	3,600	80,363
	4,200	0,500	89,362	215,744	181,225	61,600	-2,340	3,500	80,363
	4,000	0,700	85,106	205,471	172,595	61,600	-2,340	3,400	80,363
	3,800	0,900	80,851	195,197	163,966	61,600	-2,340	3,300	80,363
	3,600	1,100	76,596	184,924	155,336	61,600	-2,340	3,200	80,363
	3,400	1,300	72,340	174,650	146,706	61,600	-2,340	3,100	80,363
	3,200	1,500	68,085	164,377	138,076	61,600	-2,340	3,000	80,363
	3,000	1,700	63,830	154,103	129,447	61,600	-2,340	2,900	80,363
	2,800	1,900	59,574	143,829	120,817	61,600	-2,340	2,800	80,363
	2,600	2,100	55,319	133,556	112,187	61,600	-2,340	2,700	80,363
	2,400	2,300	51,064	123,282	103,557	61,600	-2,340	2,600	80,363
	2,200	2,500	46,809	113,009	94,927	61,600	-2,340	2,500	80,363
	2,000	2,700	42,553	102,735	86,298	61,600	-2,340	2,400	80,363

Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
	1,800	2,900	38,298	92,462	77,668	61,600	-2,340	2,300	80,363
	1,600	3,100	34,043	82,188	69,038	61,600	-2,340	2,200	80,363
	1,400	3,300	29,787	71,915	60,408	61,600	-2,340	2,100	80,363
	1,200	3,500	25,532	61,641	51,779	61,600	-2,340	2,000	80,363
	1,000	3,700	21,277	51,368	43,149	61,600	-2,340	1,900	80,363
	0,800	3,900	17,021	41,094	34,519	61,600	-2,340	1,800	80,363
	0,600	4,100	12,766	30,821	25,889	61,600	-2,340	1,700	80,363
	0,400	4,300	8,511	20,547	17,260	61,600	-2,340	1,600	80,363
	0,200	4,500	4,255	10,274	8,630	61,600	-2,340	1,500	80,363
	0,047	4,653	1,000	2,414	2,028	61,600	-2,340	1,424	80,363
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	61,600	-2,340	1,400	0,000

Tank Calibrations - Almacén 4

Fluid Type = Diesel Specific gravity = 0,84
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



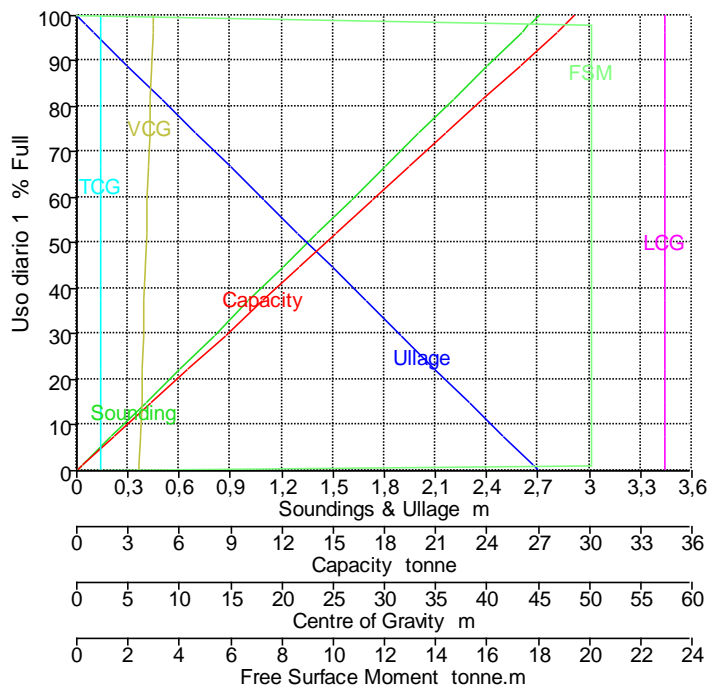
Almacén 4	
Trim: 0 m; Heel: 0 deg to starboard	
Green	Sounding
Blue	Ullage
Red	Capacity
Magenta	LCG
Cyan	TCG
Yellow	VCG
Light Green	FSM

Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Almacén 4	4,700	0,000	100,000	253,809	213,200	61,600	-7,140	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	248,733	208,936	61,600	-7,140	3,703	93,371
	4,601	0,099	97,900	248,479	208,722	61,600	-7,140	3,701	93,371
	4,600	0,100	97,872	248,409	208,663	61,600	-7,140	3,700	93,371
	4,400	0,300	93,617	237,608	199,591	61,600	-7,140	3,600	93,371
	4,200	0,500	89,362	226,808	190,519	61,600	-7,140	3,500	93,371
	4,000	0,700	85,106	216,008	181,446	61,600	-7,140	3,400	93,371
	3,800	0,900	80,851	205,207	172,374	61,600	-7,140	3,300	93,371
	3,600	1,100	76,596	194,407	163,302	61,600	-7,140	3,200	93,371
	3,400	1,300	72,340	183,606	154,229	61,600	-7,140	3,100	93,371
	3,200	1,500	68,085	172,806	145,157	61,600	-7,140	3,000	93,371
	3,000	1,700	63,830	162,006	136,085	61,600	-7,140	2,900	93,371
	2,800	1,900	59,574	151,205	127,012	61,600	-7,140	2,800	93,371
	2,600	2,100	55,319	140,405	117,940	61,600	-7,140	2,700	93,371
	2,400	2,300	51,064	129,605	108,868	61,600	-7,140	2,600	93,371

Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
	2,200	2,500	46,809	118,804	99,796	61,600	-7,140	2,500	93,371
	2,000	2,700	42,553	108,004	90,723	61,600	-7,140	2,400	93,371
	1,800	2,900	38,298	97,203	81,651	61,600	-7,140	2,300	93,371
	1,600	3,100	34,043	86,403	72,579	61,600	-7,140	2,200	93,371
	1,400	3,300	29,787	75,603	63,506	61,600	-7,140	2,100	93,371
	1,200	3,500	25,532	64,802	54,434	61,600	-7,140	2,000	93,371
	1,000	3,700	21,277	54,002	45,362	61,600	-7,140	1,900	93,371
	0,800	3,900	17,021	43,202	36,289	61,600	-7,140	1,800	93,371
	0,600	4,100	12,766	32,401	27,217	61,600	-7,140	1,700	93,371
	0,400	4,300	8,511	21,601	18,145	61,600	-7,140	1,600	93,371
	0,200	4,500	4,255	10,800	9,072	61,600	-7,140	1,500	93,371
	0,047	4,653	1,000	2,538	2,132	61,600	-7,140	1,424	93,371
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	61,600	-7,140	1,400	0,000

Tank Calibrations - Uso diario 1

Fluid Type = Diesel Specific gravity = 0,84
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Uso diario 1
Trim: 0 m; Heel: 0 deg to starboard

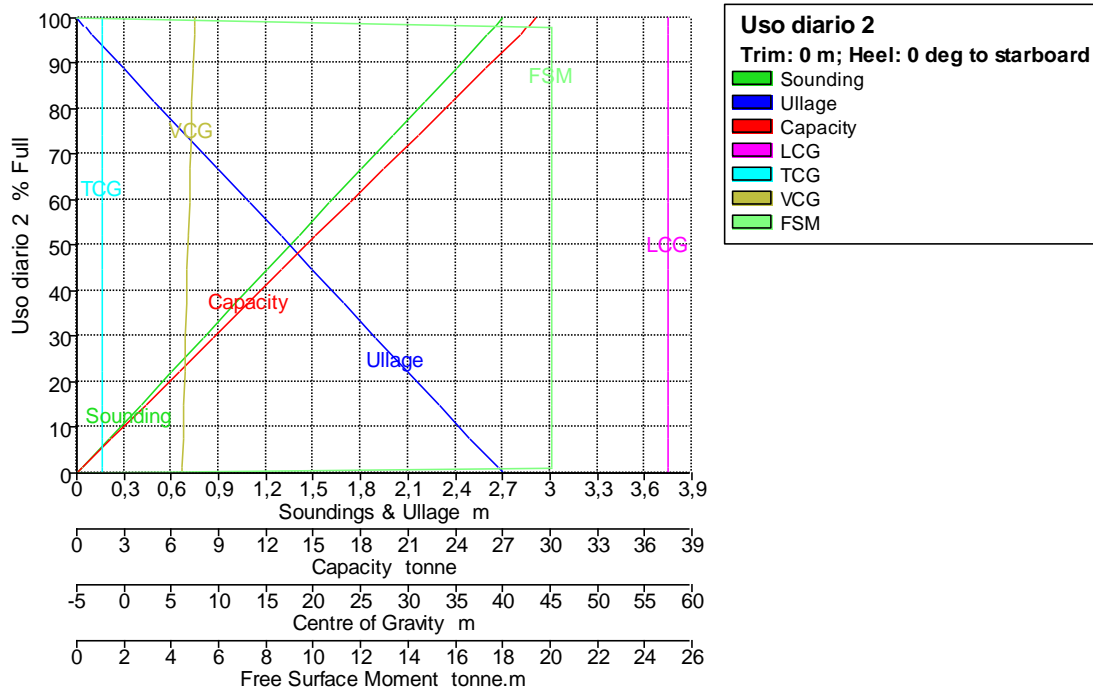
- █ Sounding
- █ Ullage
- █ Capacity
- █ LCG
- █ TCG
- █ VCG
- █ FSM

Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Uso diario 1	2,700	0,000	100,000	34,673	29,125	57,400	2,340	7,450	0,000
	2,646	0,054	98,000	33,980	28,543	57,400	2,340	7,423	20,091
	2,643	0,057	97,900	33,945	28,514	57,400	2,340	7,422	20,091
	2,600	0,100	96,296	33,389	28,047	57,400	2,340	7,400	20,091
	2,400	0,300	88,889	30,821	25,889	57,400	2,340	7,300	20,091
	2,200	0,500	81,481	28,252	23,732	57,400	2,340	7,200	20,091
	2,000	0,700	74,074	25,684	21,574	57,400	2,340	7,100	20,091
	1,800	0,900	66,667	23,115	19,417	57,400	2,340	7,000	20,091
	1,600	1,100	59,259	20,547	17,260	57,400	2,340	6,900	20,091
	1,400	1,300	51,852	17,979	15,102	57,400	2,340	6,800	20,091
	1,200	1,500	44,444	15,410	12,945	57,400	2,340	6,700	20,091
	1,000	1,700	37,037	12,842	10,787	57,400	2,340	6,600	20,091
	0,800	1,900	29,630	10,274	8,630	57,400	2,340	6,500	20,091

Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
	0,600	2,100	22,222	7,705	6,472	57,400	2,340	6,400	20,091
	0,400	2,300	14,815	5,137	4,315	57,400	2,340	6,300	20,091
	0,200	2,500	7,407	2,568	2,157	57,400	2,340	6,200	20,091
	0,027	2,673	1,000	0,347	0,291	57,400	2,340	6,114	20,091
	0,000	2,700	0,000	0,000	0,000	57,400	2,340	6,100	0,000

Tank Calibrations - Uso diario 2

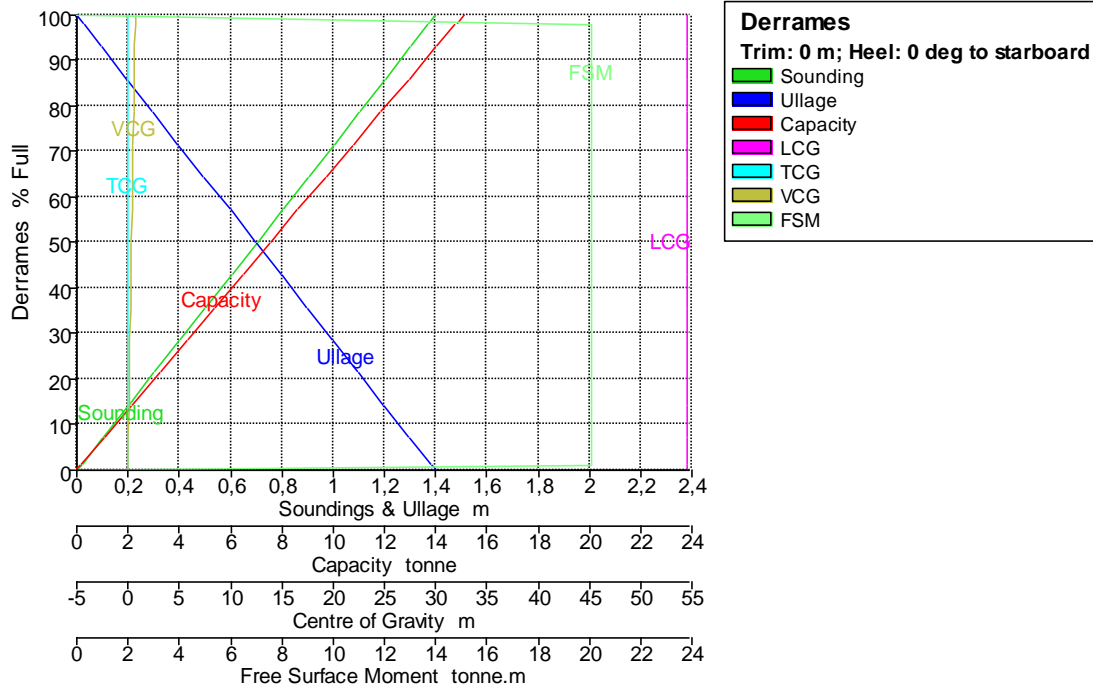
Fluid Type = Diesel Specific gravity = 0,84
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Uso diario 2	2,700	0,000	100,000	34,673	29,125	57,400	-2,340	7,450	0,000
	2,646	0,054	98,000	33,980	28,543	57,400	-2,340	7,423	20,091
	2,643	0,057	97,900	33,945	28,514	57,400	-2,340	7,422	20,091
	2,600	0,100	96,296	33,389	28,047	57,400	-2,340	7,400	20,091
	2,400	0,300	88,889	30,821	25,889	57,400	-2,340	7,300	20,091
	2,200	0,500	81,481	28,252	23,732	57,400	-2,340	7,200	20,091
	2,000	0,700	74,074	25,684	21,574	57,400	-2,340	7,100	20,091
	1,800	0,900	66,667	23,115	19,417	57,400	-2,340	7,000	20,091
	1,600	1,100	59,259	20,547	17,260	57,400	-2,340	6,900	20,091
	1,400	1,300	51,852	17,979	15,102	57,400	-2,340	6,800	20,091
	1,200	1,500	44,444	15,410	12,945	57,400	-2,340	6,700	20,091
	1,000	1,700	37,037	12,842	10,787	57,400	-2,340	6,600	20,091
	0,800	1,900	29,630	10,274	8,630	57,400	-2,340	6,500	20,091
	0,600	2,100	22,222	7,705	6,472	57,400	-2,340	6,400	20,091
	0,400	2,300	14,815	5,137	4,315	57,400	-2,340	6,300	20,091
	0,200	2,500	7,407	2,568	2,157	57,400	-2,340	6,200	20,091
	0,027	2,673	1,000	0,347	0,291	57,400	-2,340	6,114	20,091
	0,000	2,700	0,000	0,000	0,000	57,400	-2,340	6,100	0,000

Tank Calibrations - Derrames

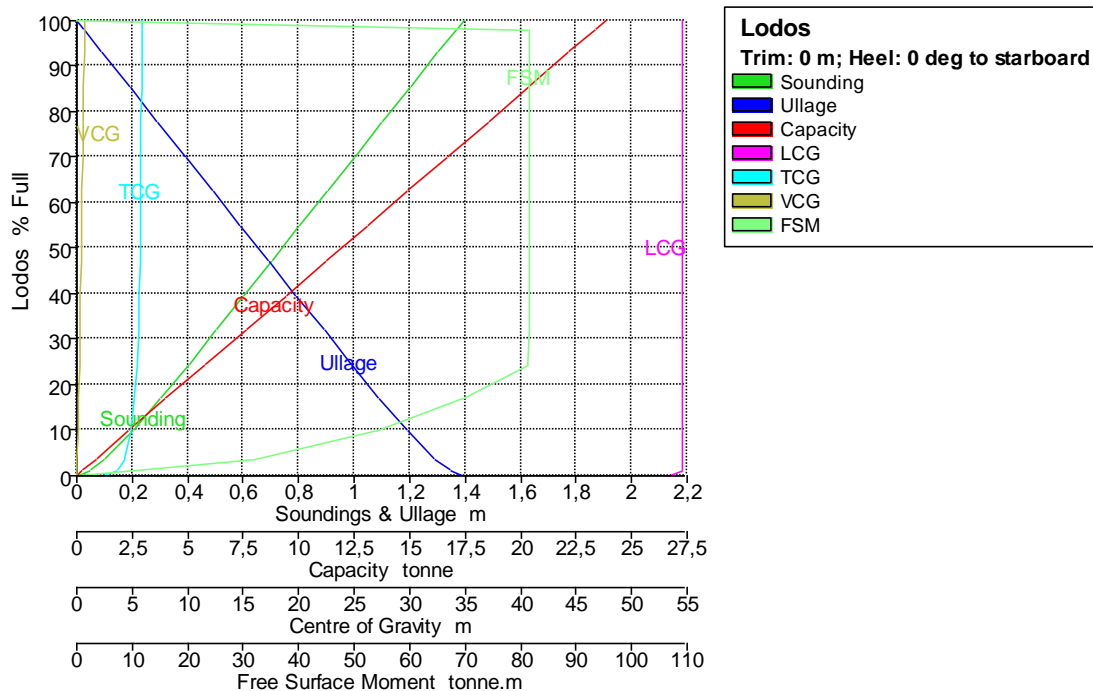
Fluid Type = Diesel Specific gravity = 0,84
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Derrames	1,400	0,000	100,000	17,951	15,078	54,600	0,000	0,701	0,000
	1,372	0,028	98,000	17,592	14,777	54,600	0,000	0,687	20,091
	1,371	0,029	97,900	17,574	14,762	54,600	0,000	0,686	20,091
	1,300	0,100	92,846	16,666	14,000	54,600	0,000	0,651	20,091
	1,200	0,200	85,692	15,382	12,921	54,600	0,000	0,601	20,091
	1,100	0,300	78,538	14,098	11,842	54,600	0,000	0,551	20,091
	1,000	0,400	71,384	12,814	10,764	54,600	0,000	0,501	20,091
	0,900	0,500	64,230	11,530	9,685	54,600	0,000	0,451	20,091
	0,800	0,600	57,076	10,245	8,606	54,600	0,000	0,401	20,091
	0,700	0,700	49,921	8,961	7,527	54,600	0,000	0,351	20,091
	0,600	0,800	42,767	7,677	6,449	54,600	0,000	0,301	20,091
	0,500	0,900	35,613	6,393	5,370	54,600	0,000	0,251	20,091
	0,400	1,000	28,459	5,109	4,291	54,600	0,000	0,201	20,091
	0,300	1,100	21,305	3,824	3,212	54,600	0,000	0,151	20,091
	0,200	1,200	14,151	2,540	2,134	54,599	0,000	0,101	20,091
	0,100	1,300	6,997	1,256	1,055	54,599	0,000	0,051	20,091
	0,016	1,384	1,000	0,180	0,151	54,592	0,000	0,009	20,091
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	54,546	0,000	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lodos

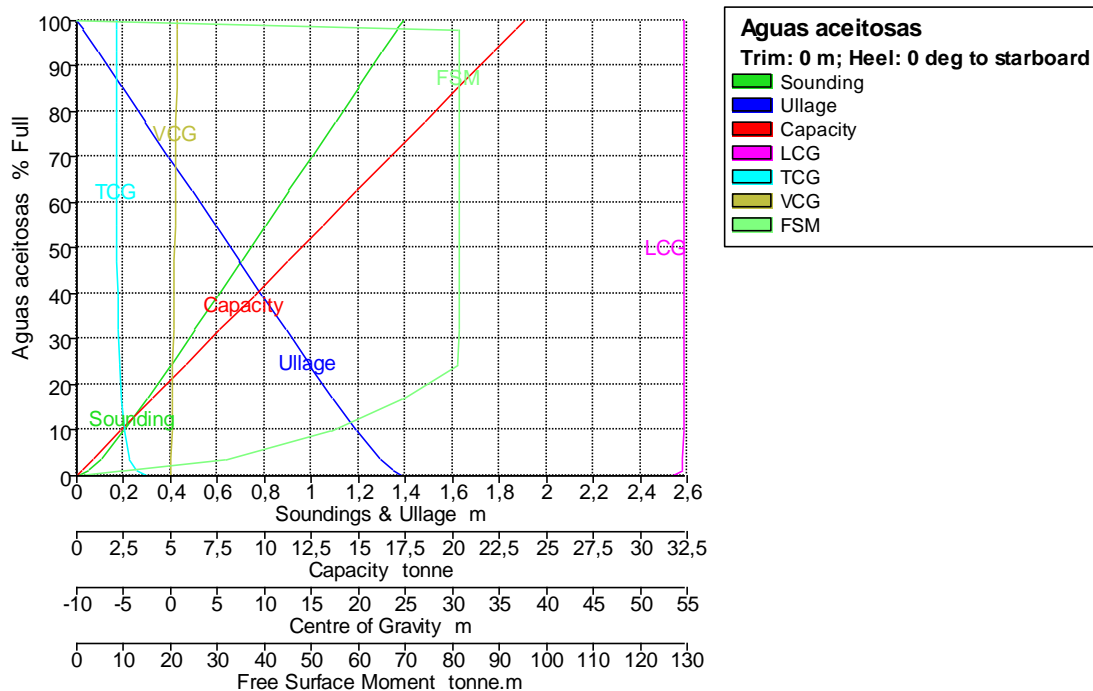
Fluid Type = Slops Specific gravity = 0,913
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lodos	1,394	0,000	100,000	26,108	23,837	54,597	5,841	0,741	0,000
	1,368	0,026	98,000	25,586	23,360	54,597	5,839	0,728	81,519
	1,366	0,028	97,900	25,560	23,336	54,597	5,838	0,728	81,519
	1,300	0,094	92,826	24,235	22,127	54,597	5,831	0,694	81,519
	1,200	0,194	85,196	22,243	20,308	54,597	5,819	0,644	81,519
	1,100	0,294	77,565	20,251	18,489	54,596	5,804	0,593	81,519
	1,000	0,394	69,935	18,259	16,670	54,596	5,786	0,543	81,519
	0,900	0,494	62,305	16,267	14,852	54,596	5,763	0,492	81,519
	0,800	0,594	54,674	14,275	13,033	54,595	5,734	0,442	81,519
	0,700	0,694	47,044	12,282	11,214	54,594	5,696	0,391	81,519
	0,600	0,794	39,414	10,290	9,395	54,593	5,643	0,339	81,519
	0,500	0,894	31,784	8,298	7,576	54,591	5,565	0,287	81,519
	0,400	0,994	24,154	6,306	5,758	54,589	5,437	0,234	81,150
	0,300	1,094	16,712	4,363	3,984	54,586	5,239	0,180	69,247
	0,200	1,194	9,758	2,548	2,326	54,580	4,946	0,125	53,812
	0,100	1,294	3,574	0,933	0,852	54,565	4,351	0,068	31,594
	0,046	1,348	1,000	0,261	0,238	54,551	3,620	0,035	9,374
	0,000	1,394	0,000	0,000	0,000	53,260	2,343	0,006	0,000

Tank Calibrations - Aguas aceitosas

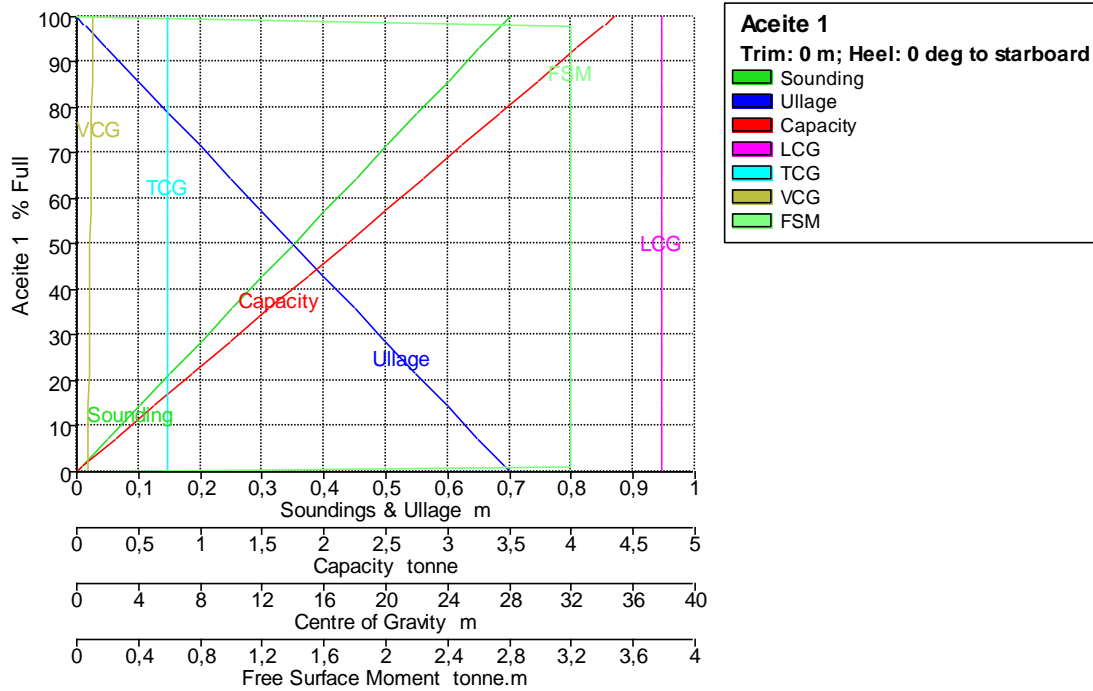
Fluid Type = Slops Specific gravity = 0,913
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Aguas aceitosas	1,394	0,000	100,000	26,108	23,837	54,597	-5,841	0,741	0,000
	1,368	0,026	98,000	25,586	23,360	54,597	-5,839	0,728	81,519
	1,366	0,028	97,900	25,560	23,336	54,597	-5,838	0,728	81,519
	1,300	0,094	92,826	24,235	22,127	54,597	-5,831	0,694	81,519
	1,200	0,194	85,196	22,243	20,308	54,597	-5,819	0,644	81,519
	1,100	0,294	77,565	20,251	18,489	54,596	-5,804	0,593	81,519
	1,000	0,394	69,935	18,259	16,670	54,596	-5,786	0,543	81,519
	0,900	0,494	62,305	16,267	14,852	54,596	-5,763	0,492	81,519
	0,800	0,594	54,674	14,275	13,033	54,595	-5,734	0,442	81,519
	0,700	0,694	47,044	12,282	11,214	54,594	-5,696	0,391	81,519
	0,600	0,794	39,414	10,290	9,395	54,593	-5,643	0,339	81,519
	0,500	0,894	31,784	8,298	7,576	54,591	-5,565	0,287	81,519
	0,400	0,994	24,154	6,306	5,758	54,589	-5,437	0,234	81,150
	0,300	1,094	16,712	4,363	3,984	54,586	-5,239	0,180	69,247
	0,200	1,194	9,758	2,548	2,326	54,580	-4,946	0,125	53,812
	0,100	1,294	3,574	0,933	0,852	54,565	-4,351	0,068	31,594
	0,046	1,348	1,000	0,261	0,238	54,551	-3,620	0,035	9,374
	0,000	1,394	0,000	0,000	0,000	53,260	-2,343	0,006	0,000

Tank Calibrations - Aceite 1

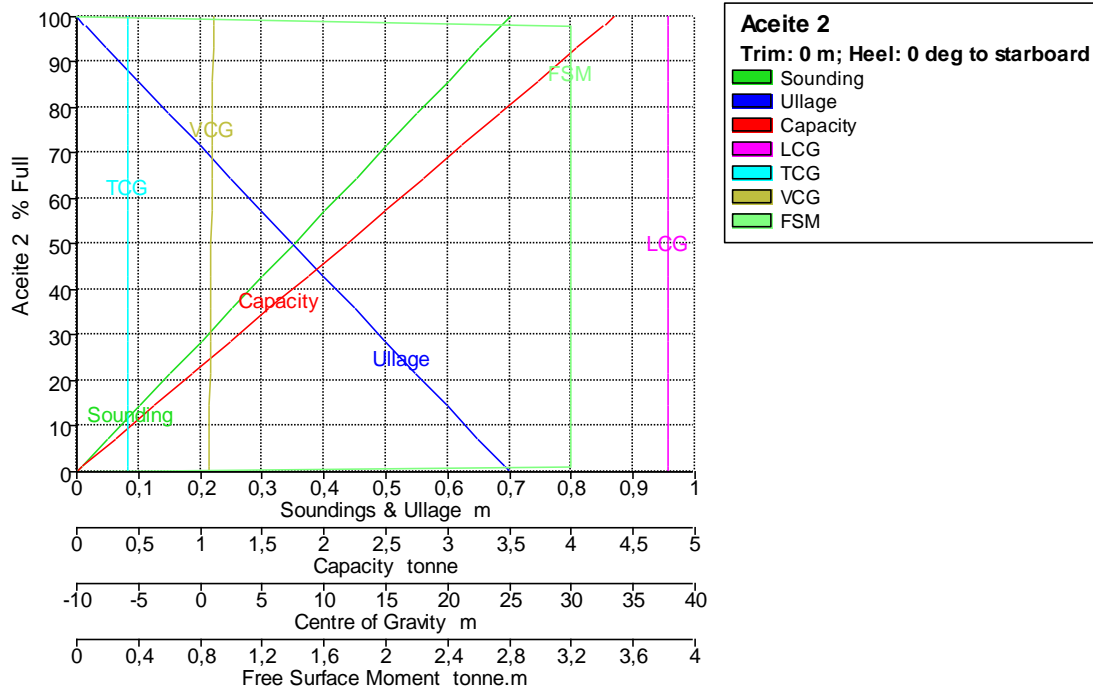
Fluid Type = Lube Oil Specific gravity = 0,92
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Aceite 1	0,700	0,000	100,000	4,725	4,347	37,800	5,910	1,050	0,000
	0,686	0,014	98,000	4,631	4,260	37,800	5,910	1,043	3,196
	0,685	0,015	97,900	4,626	4,256	37,800	5,910	1,043	3,196
	0,650	0,050	92,857	4,388	4,037	37,800	5,910	1,025	3,196
	0,600	0,100	85,714	4,050	3,726	37,800	5,910	1,000	3,196
	0,550	0,150	78,571	3,713	3,416	37,800	5,910	0,975	3,196
	0,500	0,200	71,429	3,375	3,105	37,800	5,910	0,950	3,196
	0,450	0,250	64,286	3,038	2,795	37,800	5,910	0,925	3,196
	0,400	0,300	57,143	2,700	2,484	37,800	5,910	0,900	3,196
	0,350	0,350	50,000	2,363	2,174	37,800	5,910	0,875	3,196
	0,300	0,400	42,857	2,025	1,863	37,800	5,910	0,850	3,196
	0,250	0,450	35,714	1,688	1,553	37,800	5,910	0,825	3,196
	0,200	0,500	28,571	1,350	1,242	37,800	5,910	0,800	3,196
	0,150	0,550	21,429	1,013	0,932	37,800	5,910	0,775	3,196
	0,100	0,600	14,286	0,675	0,621	37,800	5,910	0,750	3,196
	0,050	0,650	7,143	0,338	0,311	37,800	5,910	0,725	3,196
	0,007	0,693	1,000	0,047	0,043	37,800	5,910	0,704	3,196
	0,000	0,700	0,000	0,000	0,000	37,800	5,910	0,700	0,000

Tank Calibrations - Aceite 2

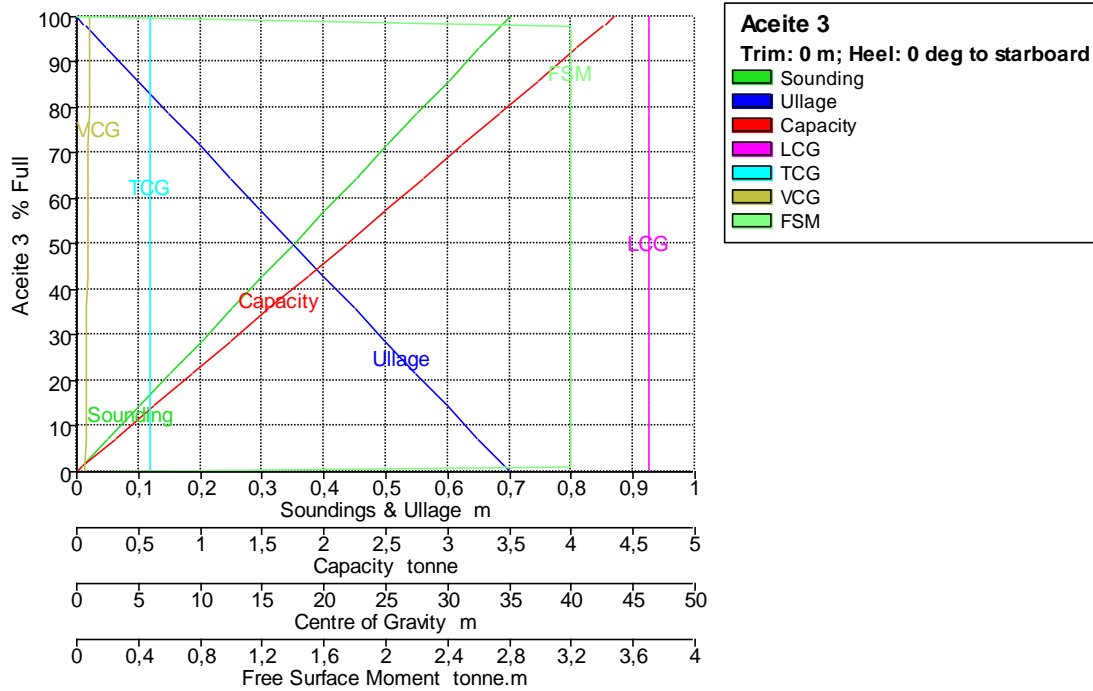
Fluid Type = Lube Oil Specific gravity = 0,92
 Permeability = 98 %
 Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Aceite 2	0,700	0,000	100,000	4,725	4,347	37,800	-5,910	1,050	0,000
	0,686	0,014	98,000	4,631	4,260	37,800	-5,910	1,043	3,196
	0,685	0,015	97,900	4,626	4,256	37,800	-5,910	1,043	3,196
	0,650	0,050	92,857	4,388	4,037	37,800	-5,910	1,025	3,196
	0,600	0,100	85,714	4,050	3,726	37,800	-5,910	1,000	3,196
	0,550	0,150	78,571	3,713	3,416	37,800	-5,910	0,975	3,196
	0,500	0,200	71,429	3,375	3,105	37,800	-5,910	0,950	3,196
	0,450	0,250	64,286	3,038	2,795	37,800	-5,910	0,925	3,196
	0,400	0,300	57,143	2,700	2,484	37,800	-5,910	0,900	3,196
	0,350	0,350	50,000	2,363	2,174	37,800	-5,910	0,875	3,196
	0,300	0,400	42,857	2,025	1,863	37,800	-5,910	0,850	3,196
	0,250	0,450	35,714	1,688	1,553	37,800	-5,910	0,825	3,196
	0,200	0,500	28,571	1,350	1,242	37,800	-5,910	0,800	3,196
	0,150	0,550	21,429	1,013	0,932	37,800	-5,910	0,775	3,196
	0,100	0,600	14,286	0,675	0,621	37,800	-5,910	0,750	3,196
	0,050	0,650	7,143	0,338	0,311	37,800	-5,910	0,725	3,196
	0,007	0,693	1,000	0,047	0,043	37,800	-5,910	0,704	3,196
	0,000	0,700	0,000	0,000	0,000	37,800	-5,910	0,700	0,000

Tank Calibrations - Aceite 3

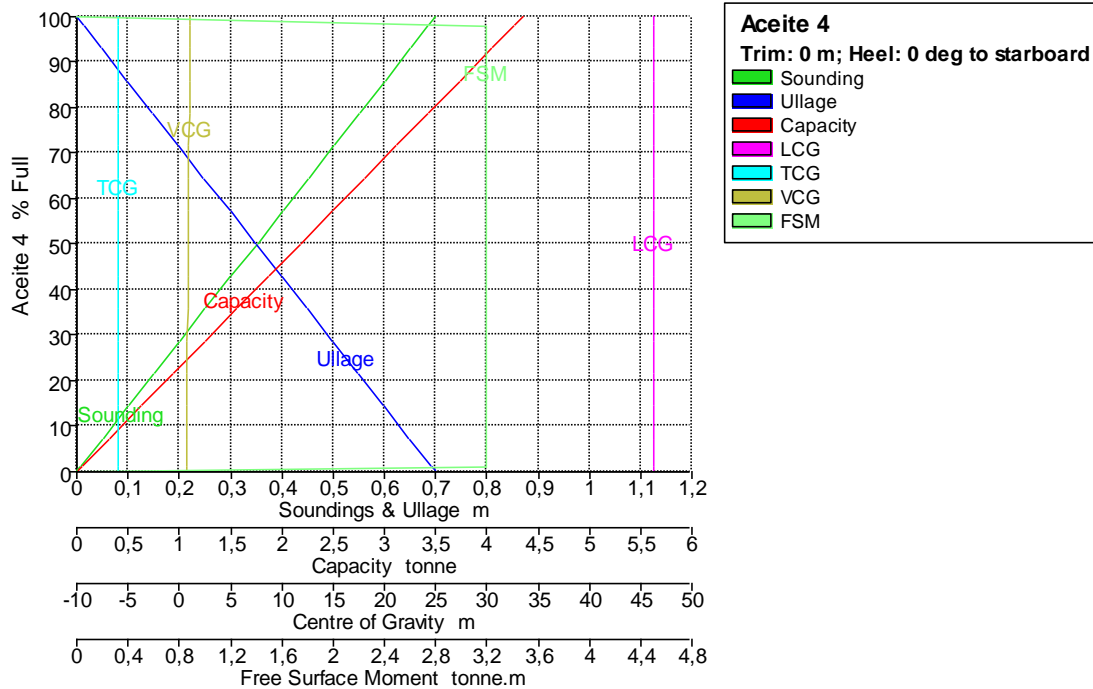
Fluid Type = Lube Oil Specific gravity = 0,92
 Permeability = 98 %
 Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Aceite 3	0,700	0,000	100,000	4,725	4,347	46,200	5,910	1,050	0,000
	0,686	0,014	98,000	4,631	4,260	46,200	5,910	1,043	3,196
	0,685	0,015	97,900	4,626	4,256	46,200	5,910	1,043	3,196
	0,650	0,050	92,857	4,388	4,037	46,200	5,910	1,025	3,196
	0,600	0,100	85,714	4,050	3,726	46,200	5,910	1,000	3,196
	0,550	0,150	78,571	3,713	3,416	46,200	5,910	0,975	3,196
	0,500	0,200	71,429	3,375	3,105	46,200	5,910	0,950	3,196
	0,450	0,250	64,286	3,038	2,795	46,200	5,910	0,925	3,196
	0,400	0,300	57,143	2,700	2,484	46,200	5,910	0,900	3,196
	0,350	0,350	50,000	2,363	2,174	46,200	5,910	0,875	3,196
	0,300	0,400	42,857	2,025	1,863	46,200	5,910	0,850	3,196
	0,250	0,450	35,714	1,688	1,553	46,200	5,910	0,825	3,196
	0,200	0,500	28,571	1,350	1,242	46,200	5,910	0,800	3,196
	0,150	0,550	21,429	1,013	0,932	46,200	5,910	0,775	3,196
	0,100	0,600	14,286	0,675	0,621	46,200	5,910	0,750	3,196
	0,050	0,650	7,143	0,338	0,311	46,200	5,910	0,725	3,196
	0,007	0,693	1,000	0,047	0,043	46,200	5,910	0,704	3,196
	0,000	0,700	0,000	0,000	0,000	46,200	5,910	0,700	0,000

Tank Calibrations - Aceite 4

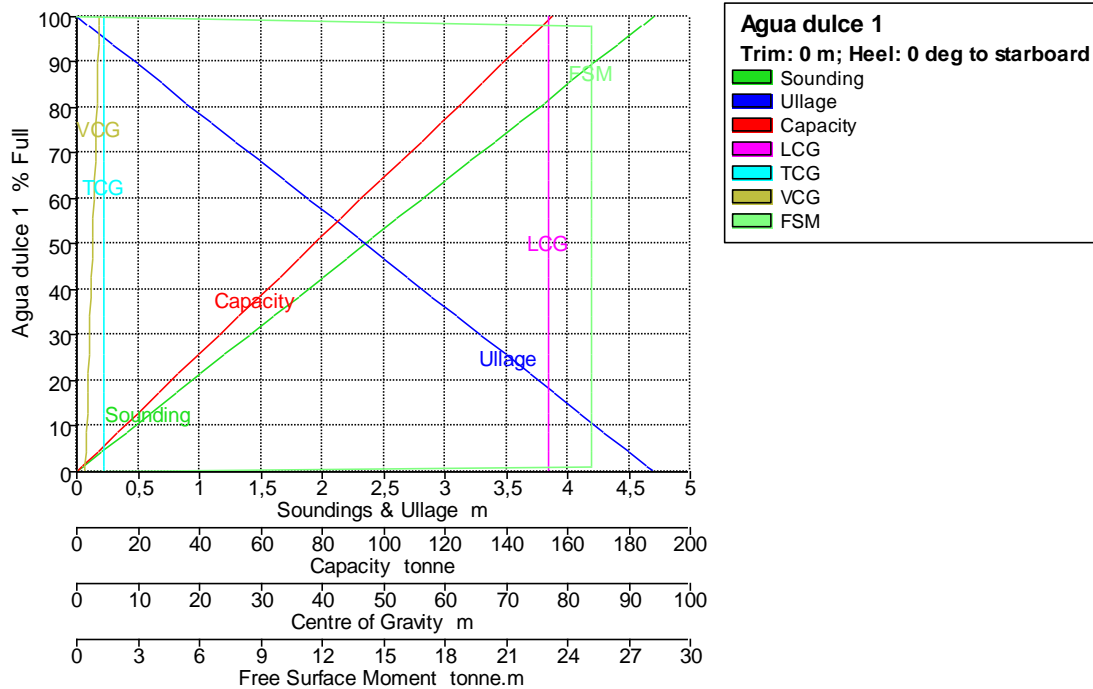
Fluid Type = Lube Oil Specific gravity = 0,92
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Aceite 4	0,700	0,000	100,000	4,725	4,347	46,200	-5,910	1,050	0,000
	0,686	0,014	98,000	4,631	4,260	46,200	-5,910	1,043	3,196
	0,685	0,015	97,900	4,626	4,256	46,200	-5,910	1,043	3,196
	0,650	0,050	92,857	4,388	4,037	46,200	-5,910	1,025	3,196
	0,600	0,100	85,714	4,050	3,726	46,200	-5,910	1,000	3,196
	0,550	0,150	78,571	3,713	3,416	46,200	-5,910	0,975	3,196
	0,500	0,200	71,429	3,375	3,105	46,200	-5,910	0,950	3,196
	0,450	0,250	64,286	3,038	2,795	46,200	-5,910	0,925	3,196
	0,400	0,300	57,143	2,700	2,484	46,200	-5,910	0,900	3,196
	0,350	0,350	50,000	2,363	2,174	46,200	-5,910	0,875	3,196
	0,300	0,400	42,857	2,025	1,863	46,200	-5,910	0,850	3,196
	0,250	0,450	35,714	1,688	1,553	46,200	-5,910	0,825	3,196
	0,200	0,500	28,571	1,350	1,242	46,200	-5,910	0,800	3,196
	0,150	0,550	21,429	1,013	0,932	46,200	-5,910	0,775	3,196
	0,100	0,600	14,286	0,675	0,621	46,200	-5,910	0,750	3,196
	0,050	0,650	7,143	0,338	0,311	46,200	-5,910	0,725	3,196
	0,007	0,693	1,000	0,047	0,043	46,200	-5,910	0,704	3,196
	0,000	0,700	0,000	0,000	0,000	46,200	-5,910	0,700	0,000

Tank Calibrations - Agua dulce 1

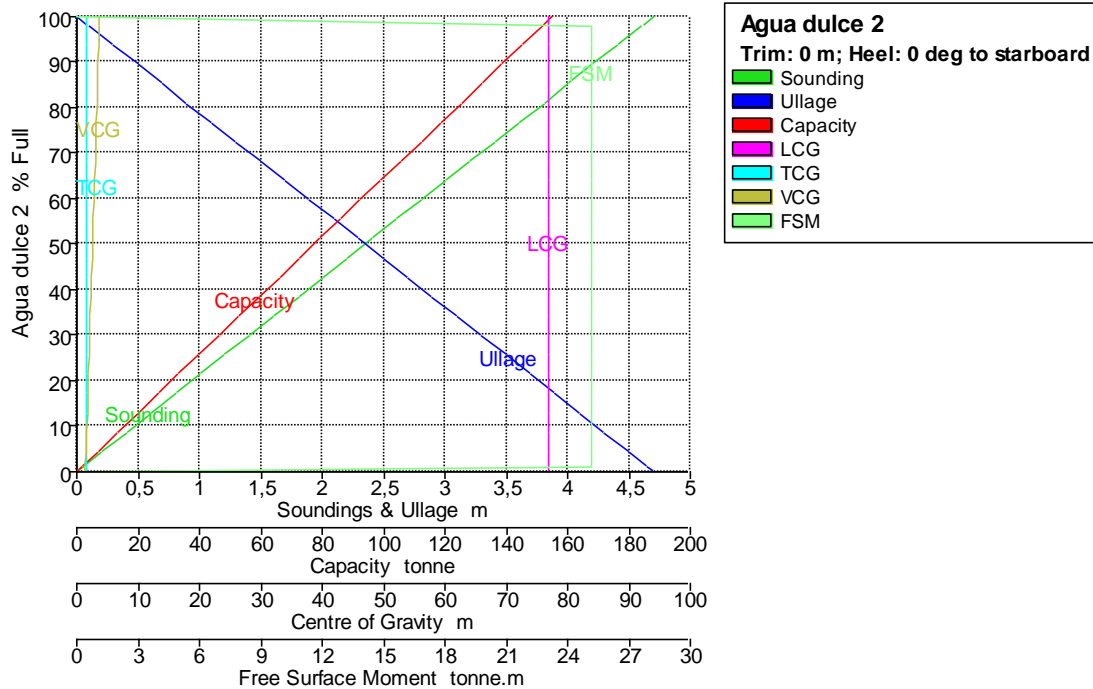
Fluid Type = Fresh Water Specific gravity = 1
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Agua dulce 1	4,700	0,000	100,000	154,762	154,762	77,000	4,500	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	151,667	151,667	77,000	4,500	3,703	25,200
	4,601	0,099	97,900	151,512	151,512	77,000	4,500	3,701	25,200
	4,600	0,100	97,872	151,469	151,469	77,000	4,500	3,700	25,200
	4,400	0,300	93,617	144,883	144,883	77,000	4,500	3,600	25,200
	4,200	0,500	89,362	138,298	138,298	77,000	4,500	3,500	25,200
	4,000	0,700	85,106	131,712	131,712	77,000	4,500	3,400	25,200
	3,800	0,900	80,851	125,127	125,127	77,000	4,500	3,300	25,200
	3,600	1,100	76,596	118,541	118,541	77,000	4,500	3,200	25,200
	3,400	1,300	72,340	111,955	111,955	77,000	4,500	3,100	25,200
	3,200	1,500	68,085	105,370	105,370	77,000	4,500	3,000	25,200
	3,000	1,700	63,830	98,784	98,784	77,000	4,500	2,900	25,200
	2,800	1,900	59,574	92,199	92,199	77,000	4,500	2,800	25,200
	2,600	2,100	55,319	85,613	85,613	77,000	4,500	2,700	25,200
	2,400	2,300	51,064	79,027	79,027	77,000	4,500	2,600	25,200
	2,200	2,500	46,809	72,442	72,442	77,000	4,500	2,500	25,200
	2,000	2,700	42,553	65,856	65,856	77,000	4,500	2,400	25,200
	1,800	2,900	38,298	59,270	59,270	77,000	4,500	2,300	25,200
	1,600	3,100	34,043	52,685	52,685	77,000	4,500	2,200	25,200
	1,400	3,300	29,787	46,099	46,099	77,000	4,500	2,100	25,200
	1,200	3,500	25,532	39,514	39,514	77,000	4,500	2,000	25,200
	1,000	3,700	21,277	32,928	32,928	77,000	4,500	1,900	25,200
	0,800	3,900	17,021	26,342	26,342	77,000	4,500	1,800	25,200
	0,600	4,100	12,766	19,757	19,757	77,000	4,500	1,700	25,200
	0,400	4,300	8,511	13,171	13,171	77,000	4,500	1,600	25,200
	0,200	4,500	4,255	6,586	6,586	77,000	4,500	1,500	25,200
	0,047	4,653	1,000	1,548	1,548	77,000	4,500	1,424	25,200
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	77,000	4,500	1,400	0,000

Tank Calibrations - Agua dulce 2

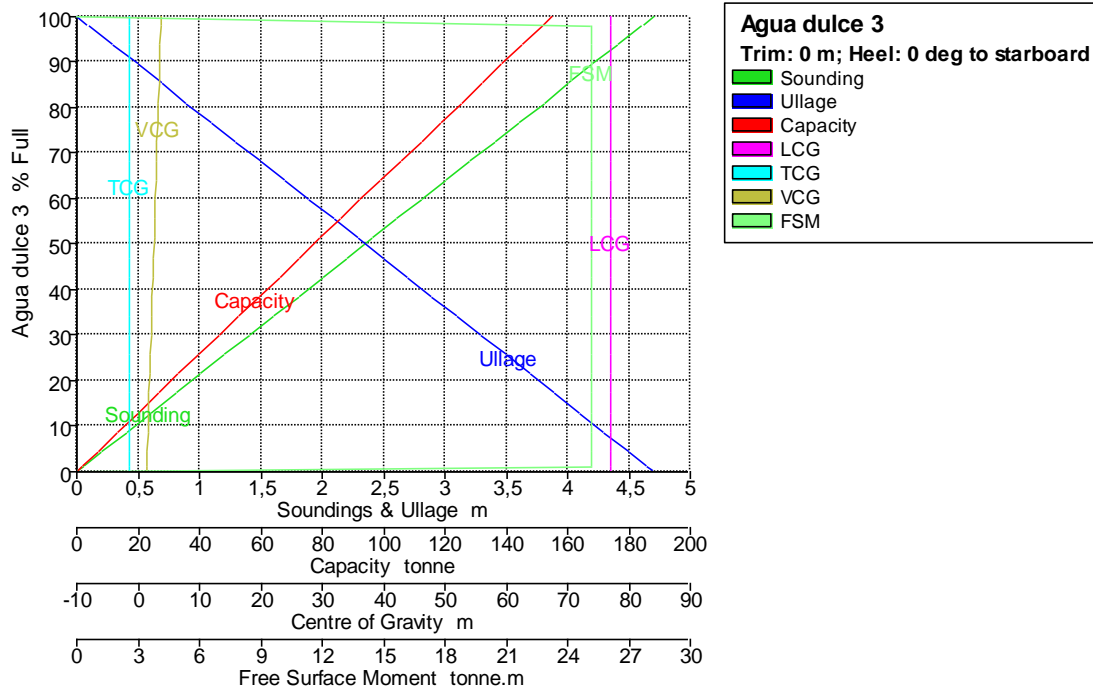
Fluid Type = Fresh Water Specific gravity = 1
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Agua dulce 2	4,700	0,000	100,000	154,762	154,762	77,000	1,500	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	151,667	151,667	77,000	1,500	3,703	25,200
	4,601	0,099	97,900	151,512	151,512	77,000	1,500	3,701	25,200
	4,600	0,100	97,872	151,469	151,469	77,000	1,500	3,700	25,200
	4,400	0,300	93,617	144,883	144,883	77,000	1,500	3,600	25,200
	4,200	0,500	89,362	138,298	138,298	77,000	1,500	3,500	25,200
	4,000	0,700	85,106	131,712	131,712	77,000	1,500	3,400	25,200
	3,800	0,900	80,851	125,127	125,127	77,000	1,500	3,300	25,200
	3,600	1,100	76,596	118,541	118,541	77,000	1,500	3,200	25,200
	3,400	1,300	72,340	111,955	111,955	77,000	1,500	3,100	25,200
	3,200	1,500	68,085	105,370	105,370	77,000	1,500	3,000	25,200
	3,000	1,700	63,830	98,784	98,784	77,000	1,500	2,900	25,200
	2,800	1,900	59,574	92,199	92,199	77,000	1,500	2,800	25,200
	2,600	2,100	55,319	85,613	85,613	77,000	1,500	2,700	25,200
	2,400	2,300	51,064	79,027	79,027	77,000	1,500	2,600	25,200
	2,200	2,500	46,809	72,442	72,442	77,000	1,500	2,500	25,200
	2,000	2,700	42,553	65,856	65,856	77,000	1,500	2,400	25,200
	1,800	2,900	38,298	59,270	59,270	77,000	1,500	2,300	25,200
	1,600	3,100	34,043	52,685	52,685	77,000	1,500	2,200	25,200
	1,400	3,300	29,787	46,099	46,099	77,000	1,500	2,100	25,200
	1,200	3,500	25,532	39,514	39,514	77,000	1,500	2,000	25,200
	1,000	3,700	21,277	32,928	32,928	77,000	1,500	1,900	25,200
	0,800	3,900	17,021	26,342	26,342	77,000	1,500	1,800	25,200
	0,600	4,100	12,766	19,757	19,757	77,000	1,500	1,700	25,200
	0,400	4,300	8,511	13,171	13,171	77,000	1,500	1,600	25,200
	0,200	4,500	4,255	6,586	6,586	77,000	1,500	1,500	25,200
	0,047	4,653	1,000	1,548	1,548	77,000	1,500	1,424	25,200
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	77,000	1,500	1,400	0,000

Tank Calibrations - Agua dulce 3

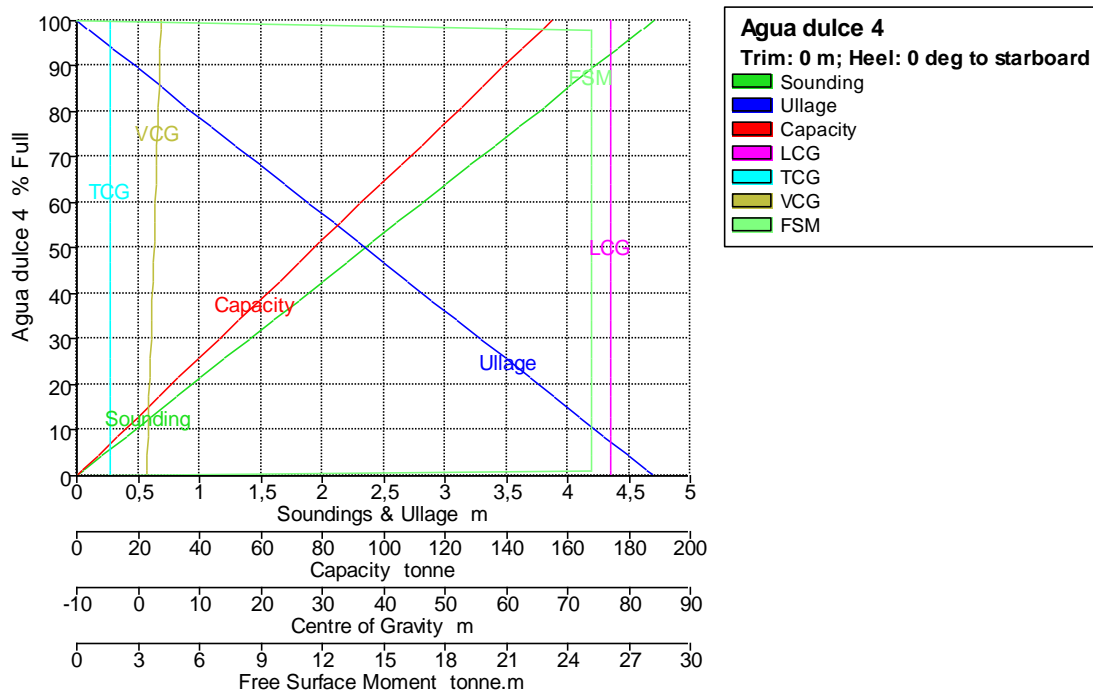
Fluid Type = Fresh Water Specific gravity = 1
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Agua dulce 3	4,700	0,000	100,000	154,762	154,762	77,000	-1,500	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	151,667	151,667	77,000	-1,500	3,703	25,200
	4,601	0,099	97,900	151,512	151,512	77,000	-1,500	3,701	25,200
	4,600	0,100	97,872	151,469	151,469	77,000	-1,500	3,700	25,200
	4,400	0,300	93,617	144,883	144,883	77,000	-1,500	3,600	25,200
	4,200	0,500	89,362	138,298	138,298	77,000	-1,500	3,500	25,200
	4,000	0,700	85,106	131,712	131,712	77,000	-1,500	3,400	25,200
	3,800	0,900	80,851	125,127	125,127	77,000	-1,500	3,300	25,200
	3,600	1,100	76,596	118,541	118,541	77,000	-1,500	3,200	25,200
	3,400	1,300	72,340	111,955	111,955	77,000	-1,500	3,100	25,200
	3,200	1,500	68,085	105,370	105,370	77,000	-1,500	3,000	25,200
	3,000	1,700	63,830	98,784	98,784	77,000	-1,500	2,900	25,200
	2,800	1,900	59,574	92,199	92,199	77,000	-1,500	2,800	25,200
	2,600	2,100	55,319	85,613	85,613	77,000	-1,500	2,700	25,200
	2,400	2,300	51,064	79,027	79,027	77,000	-1,500	2,600	25,200
	2,200	2,500	46,809	72,442	72,442	77,000	-1,500	2,500	25,200
	2,000	2,700	42,553	65,856	65,856	77,000	-1,500	2,400	25,200
	1,800	2,900	38,298	59,270	59,270	77,000	-1,500	2,300	25,200
	1,600	3,100	34,043	52,685	52,685	77,000	-1,500	2,200	25,200
	1,400	3,300	29,787	46,099	46,099	77,000	-1,500	2,100	25,200
	1,200	3,500	25,532	39,514	39,514	77,000	-1,500	2,000	25,200
	1,000	3,700	21,277	32,928	32,928	77,000	-1,500	1,900	25,200
	0,800	3,900	17,021	26,342	26,342	77,000	-1,500	1,800	25,200
	0,600	4,100	12,766	19,757	19,757	77,000	-1,500	1,700	25,200
	0,400	4,300	8,511	13,171	13,171	77,000	-1,500	1,600	25,200
	0,200	4,500	4,255	6,586	6,586	77,000	-1,500	1,500	25,200
	0,047	4,653	1,000	1,548	1,548	77,000	-1,500	1,424	25,200
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	77,000	-1,500	1,400	0,000

Tank Calibrations - Agua dulce 4

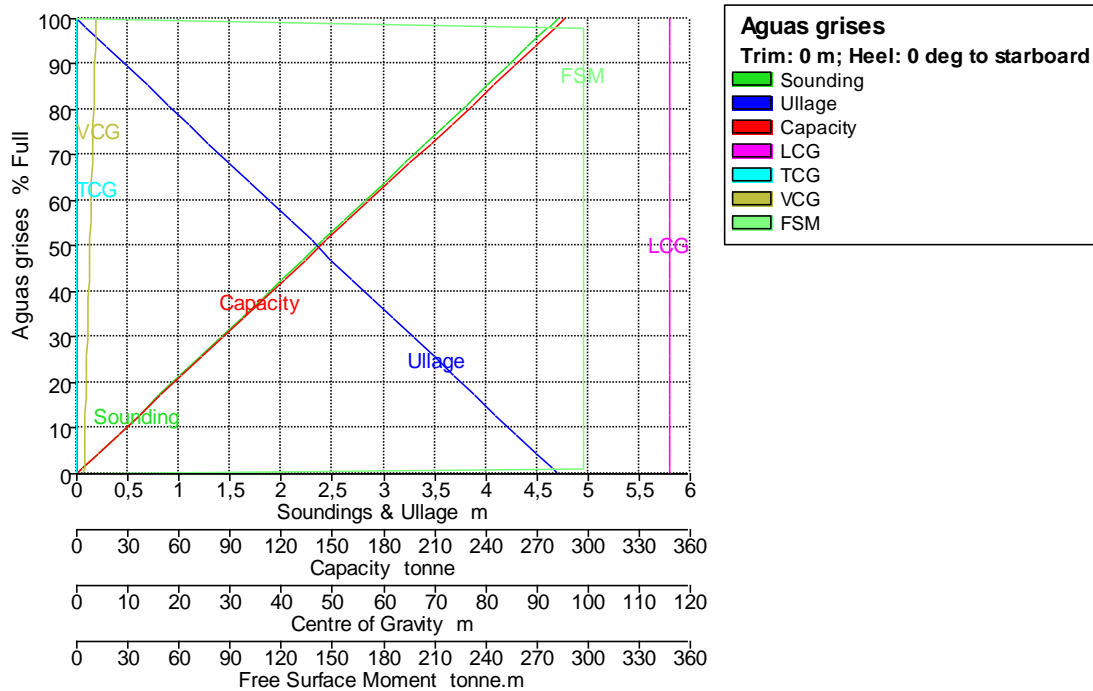
Fluid Type = Fresh Water Specific gravity = 1
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Agua dulce 4	4,700	0,000	100,000	154,762	154,762	77,000	-4,500	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	151,667	151,667	77,000	-4,500	3,703	25,200
	4,601	0,099	97,900	151,512	151,512	77,000	-4,500	3,701	25,200
	4,600	0,100	97,872	151,469	151,469	77,000	-4,500	3,700	25,200
	4,400	0,300	93,617	144,883	144,883	77,000	-4,500	3,600	25,200
	4,200	0,500	89,362	138,298	138,298	77,000	-4,500	3,500	25,200
	4,000	0,700	85,106	131,712	131,712	77,000	-4,500	3,400	25,200
	3,800	0,900	80,851	125,127	125,127	77,000	-4,500	3,300	25,200
	3,600	1,100	76,596	118,541	118,541	77,000	-4,500	3,200	25,200
	3,400	1,300	72,340	111,955	111,955	77,000	-4,500	3,100	25,200
	3,200	1,500	68,085	105,370	105,370	77,000	-4,500	3,000	25,200
	3,000	1,700	63,830	98,784	98,784	77,000	-4,500	2,900	25,200
	2,800	1,900	59,574	92,199	92,199	77,000	-4,500	2,800	25,200
	2,600	2,100	55,319	85,613	85,613	77,000	-4,500	2,700	25,200
	2,400	2,300	51,064	79,027	79,027	77,000	-4,500	2,600	25,200
	2,200	2,500	46,809	72,442	72,442	77,000	-4,500	2,500	25,200
	2,000	2,700	42,553	65,856	65,856	77,000	-4,500	2,400	25,200
	1,800	2,900	38,298	59,270	59,270	77,000	-4,500	2,300	25,200
	1,600	3,100	34,043	52,685	52,685	77,000	-4,500	2,200	25,200
	1,400	3,300	29,787	46,099	46,099	77,000	-4,500	2,100	25,200
	1,200	3,500	25,532	39,514	39,514	77,000	-4,500	2,000	25,200
	1,000	3,700	21,277	32,928	32,928	77,000	-4,500	1,900	25,200
	0,800	3,900	17,021	26,342	26,342	77,000	-4,500	1,800	25,200
	0,600	4,100	12,766	19,757	19,757	77,000	-4,500	1,700	25,200
	0,400	4,300	8,511	13,171	13,171	77,000	-4,500	1,600	25,200
	0,200	4,500	4,255	6,586	6,586	77,000	-4,500	1,500	25,200
	0,047	4,653	1,000	1,548	1,548	77,000	-4,500	1,424	25,200
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	77,000	-4,500	1,400	0,000

Tank Calibrations - Aguas grises

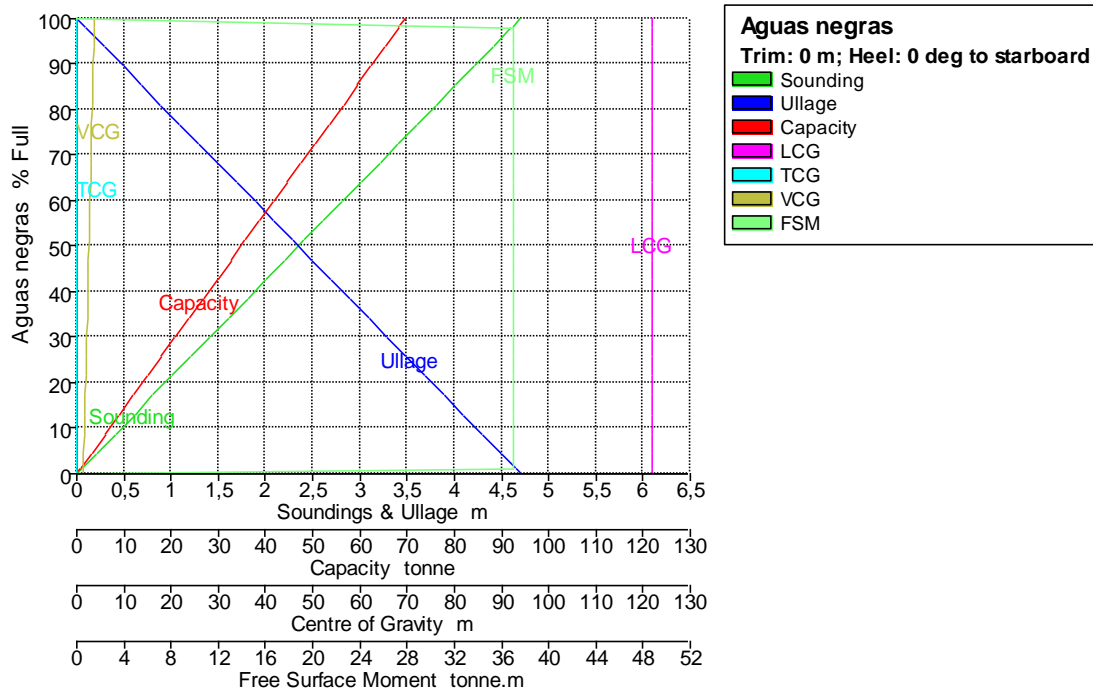
Fluid Type = Grey Water Specific gravity = 1
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Aguas grises	4,700	0,000	100,000	286,309	286,309	115,897	0,000	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	280,583	280,583	115,897	0,000	3,703	297,218
	4,601	0,099	97,900	280,296	280,296	115,897	0,000	3,701	297,218
	4,600	0,100	97,872	280,217	280,217	115,897	0,000	3,700	297,218
	4,400	0,300	93,617	268,034	268,034	115,897	0,000	3,600	297,218
	4,200	0,500	89,362	255,850	255,850	115,897	0,000	3,500	297,218
	4,000	0,700	85,106	243,667	243,667	115,897	0,000	3,400	297,218
	3,800	0,900	80,851	231,484	231,484	115,897	0,000	3,300	297,218
	3,600	1,100	76,596	219,300	219,300	115,897	0,000	3,200	297,218
	3,400	1,300	72,340	207,117	207,117	115,897	0,000	3,100	297,218
	3,200	1,500	68,085	194,934	194,934	115,897	0,000	3,000	297,218
	3,000	1,700	63,830	182,750	182,750	115,897	0,000	2,900	297,218
	2,800	1,900	59,574	170,567	170,567	115,897	0,000	2,800	297,218
	2,600	2,100	55,319	158,384	158,384	115,897	0,000	2,700	297,218
	2,400	2,300	51,064	146,200	146,200	115,897	0,000	2,600	297,218
	2,200	2,500	46,809	134,017	134,017	115,897	0,000	2,500	297,218
	2,000	2,700	42,553	121,834	121,834	115,897	0,000	2,400	297,218
	1,800	2,900	38,298	109,650	109,650	115,897	0,000	2,300	297,218
	1,600	3,100	34,043	97,467	97,467	115,897	0,000	2,200	297,218
	1,400	3,300	29,787	85,283	85,283	115,897	0,000	2,100	297,218
	1,200	3,500	25,532	73,100	73,100	115,897	0,000	2,000	297,218
	1,000	3,700	21,277	60,917	60,917	115,897	0,000	1,900	297,218
	0,800	3,900	17,021	48,733	48,733	115,897	0,000	1,800	297,218
	0,600	4,100	12,766	36,550	36,550	115,897	0,000	1,700	297,218
	0,400	4,300	8,511	24,367	24,367	115,897	0,000	1,600	297,218
	0,200	4,500	4,255	12,183	12,183	115,897	0,000	1,500	297,218
	0,047	4,653	1,000	2,863	2,863	115,897	0,000	1,424	297,218
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	115,897	0,000	1,400	0,000

Tank Calibrations - Aguas negras

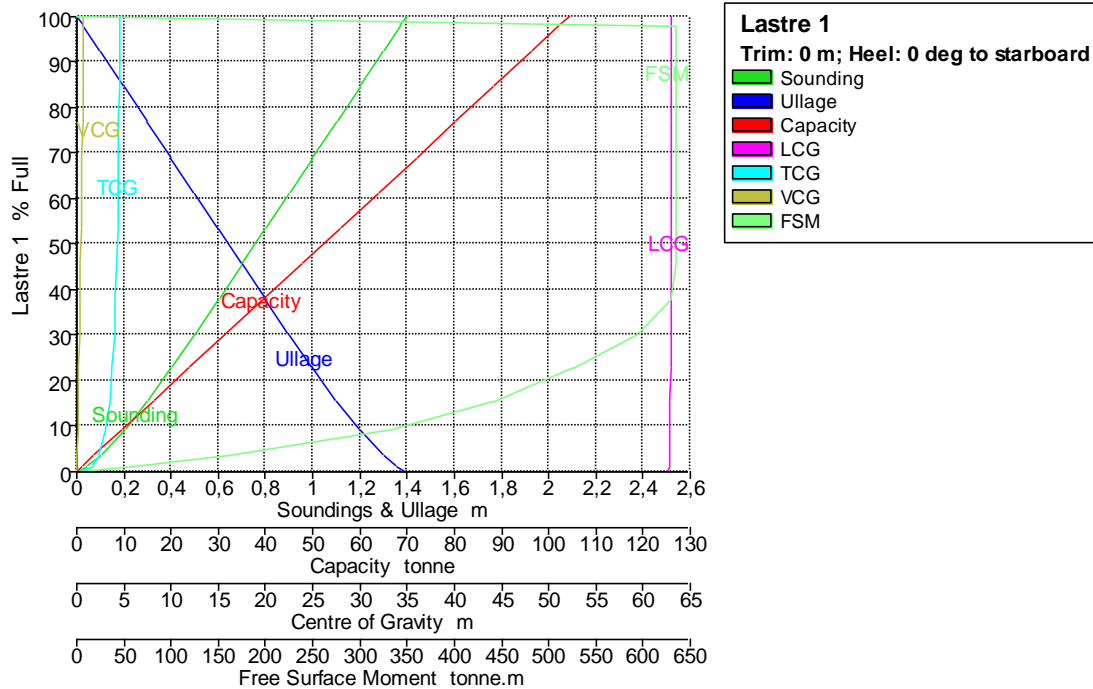
Fluid Type = Black Water Specific gravity = 1
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Aguas negras	4,700	0,000	100,000	69,643	69,643	121,765	0,000	3,750	0,000
	4,606	0,094	98,000	68,250	68,250	121,765	0,000	3,703	36,948
	4,601	0,099	97,900	68,181	68,181	121,765	0,000	3,701	36,948
	4,600	0,100	97,872	68,161	68,161	121,765	0,000	3,700	36,948
	4,400	0,300	93,617	65,198	65,198	121,765	0,000	3,600	36,948
	4,200	0,500	89,362	62,234	62,234	121,765	0,000	3,500	36,948
	4,000	0,700	85,106	59,271	59,271	121,765	0,000	3,400	36,948
	3,800	0,900	80,851	56,307	56,307	121,765	0,000	3,300	36,948
	3,600	1,100	76,596	53,344	53,344	121,765	0,000	3,200	36,948
	3,400	1,300	72,340	50,380	50,380	121,765	0,000	3,100	36,948
	3,200	1,500	68,085	47,417	47,417	121,765	0,000	3,000	36,948
	3,000	1,700	63,830	44,453	44,453	121,765	0,000	2,900	36,948
	2,800	1,900	59,574	41,490	41,490	121,765	0,000	2,800	36,948
	2,600	2,100	55,319	38,526	38,526	121,765	0,000	2,700	36,948
	2,400	2,300	51,064	35,562	35,562	121,765	0,000	2,600	36,948
	2,200	2,500	46,809	32,599	32,599	121,765	0,000	2,500	36,948
	2,000	2,700	42,553	29,635	29,635	121,765	0,000	2,400	36,948
	1,800	2,900	38,298	26,672	26,672	121,765	0,000	2,300	36,948
	1,600	3,100	34,043	23,708	23,708	121,765	0,000	2,200	36,948
	1,400	3,300	29,787	20,745	20,745	121,765	0,000	2,100	36,948
	1,200	3,500	25,532	17,781	17,781	121,765	0,000	2,000	36,948
	1,000	3,700	21,277	14,818	14,818	121,765	0,000	1,900	36,948
	0,800	3,900	17,021	11,854	11,854	121,765	0,000	1,800	36,948
	0,600	4,100	12,766	8,891	8,891	121,765	0,000	1,700	36,948
	0,400	4,300	8,511	5,927	5,927	121,765	0,000	1,600	36,948
	0,200	4,500	4,255	2,964	2,964	121,765	0,000	1,500	36,948
	0,047	4,653	1,000	0,696	0,696	121,765	0,000	1,424	36,948
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	121,765	0,000	1,400	0,000

Tank Calibrations - Lastre 1

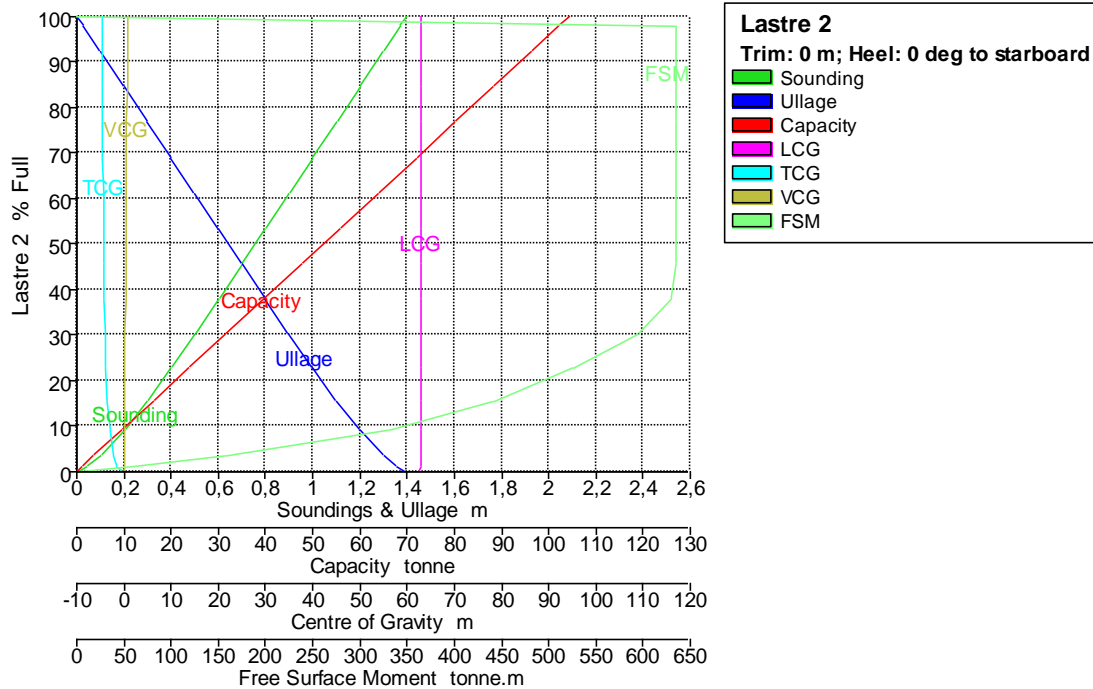
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 1	1,400	0,000	100,000	101,659	104,201	62,970	4,547	0,750	0,000
	1,374	0,026	98,000	99,626	102,117	62,970	4,542	0,737	634,798
	1,373	0,027	97,900	99,524	102,012	62,970	4,541	0,736	634,798
	1,300	0,100	92,226	93,756	96,100	62,968	4,525	0,699	634,798
	1,200	0,200	84,453	85,854	88,000	62,965	4,500	0,648	634,798
	1,100	0,300	76,679	77,951	79,900	62,961	4,470	0,597	634,798
	1,000	0,400	68,905	70,048	71,799	62,957	4,432	0,546	634,798
	0,900	0,500	61,131	62,145	63,699	62,952	4,386	0,495	634,798
	0,800	0,600	53,358	54,243	55,599	62,945	4,325	0,443	634,798
	0,700	0,700	45,584	46,340	47,499	62,935	4,244	0,391	634,798
	0,600	0,800	37,815	38,443	39,404	62,922	4,131	0,338	628,923
	0,500	0,900	30,127	30,626	31,392	62,910	3,973	0,284	594,895
	0,400	1,000	22,670	23,046	23,622	62,897	3,765	0,229	525,692
	0,300	1,100	15,578	15,837	16,232	62,879	3,483	0,174	440,412
	0,200	1,200	9,004	9,153	9,382	62,855	3,056	0,117	328,778
	0,100	1,300	3,382	3,438	3,524	62,837	2,320	0,059	157,365
	0,043	1,357	1,000	1,017	1,042	62,829	1,605	0,026	54,036
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	62,638	0,041	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 2

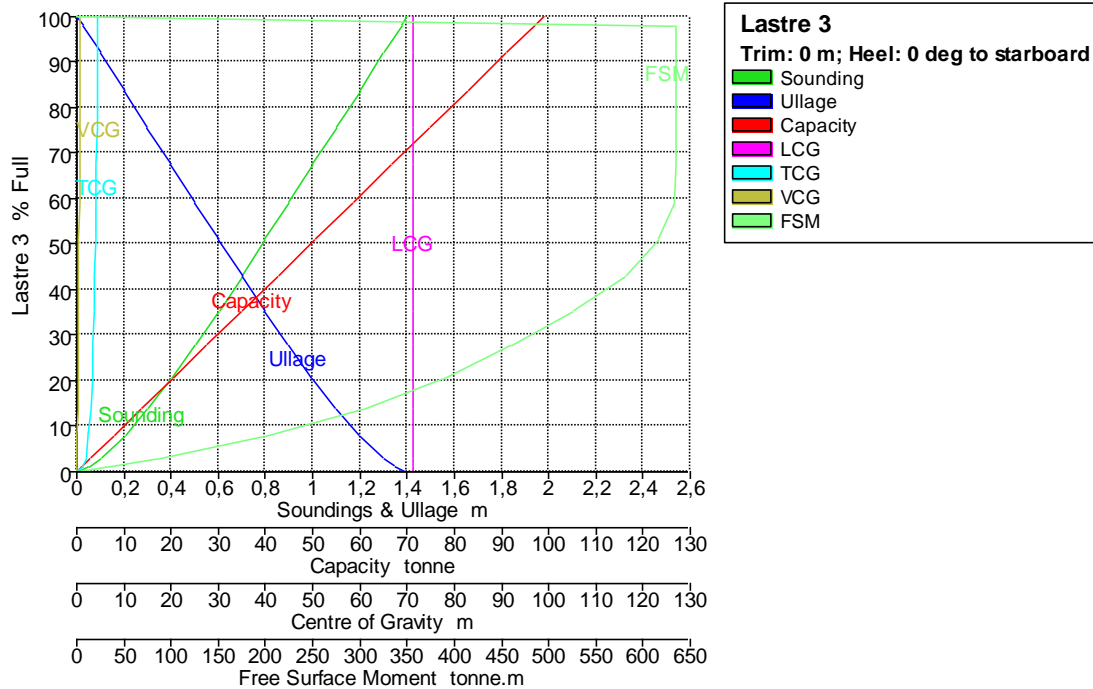
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 2	1,400	0,000	100,000	101,659	104,201	62,970	-4,547	0,750	0,000
	1,374	0,026	98,000	99,626	102,117	62,970	-4,542	0,737	634,798
	1,373	0,027	97,900	99,524	102,012	62,970	-4,541	0,736	634,798
	1,300	0,100	92,226	93,756	96,100	62,968	-4,525	0,699	634,798
	1,200	0,200	84,453	85,854	88,000	62,965	-4,500	0,648	634,798
	1,100	0,300	76,679	77,951	79,900	62,961	-4,470	0,597	634,798
	1,000	0,400	68,905	70,048	71,799	62,957	-4,432	0,546	634,798
	0,900	0,500	61,131	62,145	63,699	62,952	-4,386	0,495	634,798
	0,800	0,600	53,358	54,243	55,599	62,945	-4,325	0,443	634,798
	0,700	0,700	45,584	46,340	47,499	62,935	-4,244	0,391	634,798
	0,600	0,800	37,815	38,443	39,404	62,922	-4,131	0,338	628,923
	0,500	0,900	30,127	30,626	31,392	62,910	-3,973	0,284	594,895
	0,400	1,000	22,670	23,046	23,622	62,897	-3,765	0,229	525,692
	0,300	1,100	15,578	15,837	16,232	62,879	-3,483	0,174	440,412
	0,200	1,200	9,004	9,153	9,382	62,855	-3,056	0,117	328,778
	0,100	1,300	3,382	3,438	3,524	62,837	-2,320	0,059	157,365
	0,043	1,357	1,000	1,017	1,042	62,829	-1,605	0,026	54,036
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	62,638	-0,041	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 3

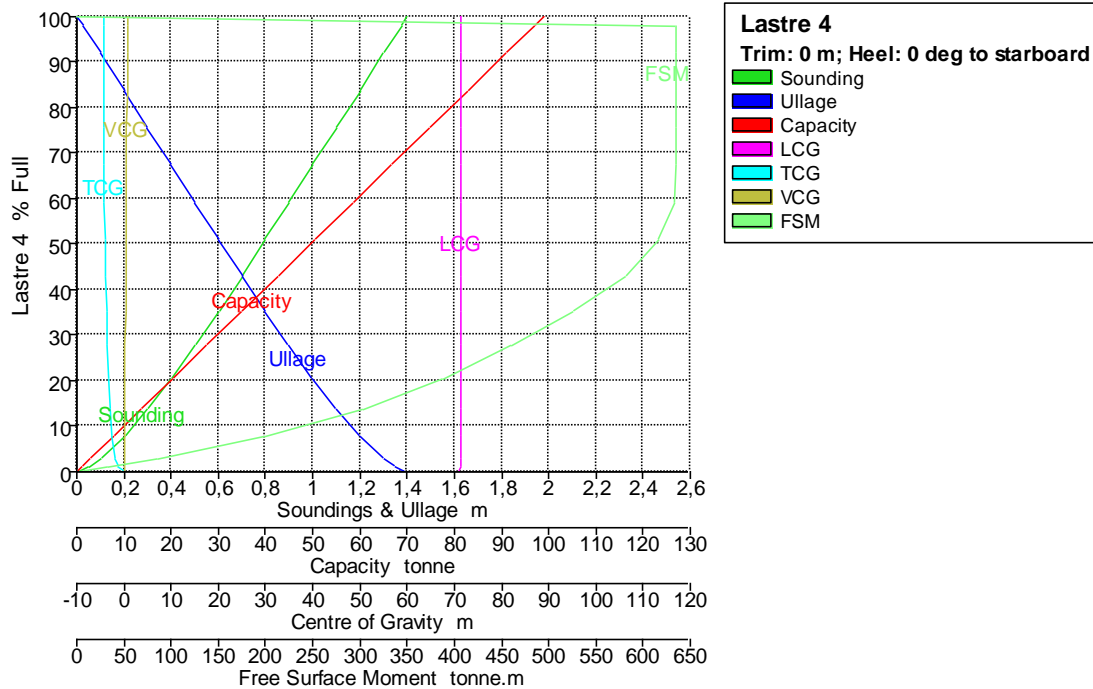
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
 Permeability = 98 %
 Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 3	1,400	0,000	100,000	96,506	98,919	71,356	4,388	0,772	0,000
	1,376	0,024	98,000	94,576	96,940	71,355	4,379	0,760	634,799
	1,374	0,026	97,900	94,479	96,841	71,355	4,379	0,759	634,799
	1,300	0,100	91,811	88,603	90,818	71,352	4,351	0,721	634,799
	1,200	0,200	83,622	80,701	82,718	71,347	4,307	0,669	634,799
	1,100	0,300	75,433	72,798	74,618	71,341	4,254	0,617	634,799
	1,000	0,400	67,245	64,895	66,518	71,334	4,187	0,564	634,799
	0,900	0,500	59,058	56,995	58,420	71,325	4,102	0,510	632,293
	0,800	0,600	50,910	49,131	50,360	71,316	3,994	0,456	616,076
	0,700	0,700	42,879	41,380	42,415	71,308	3,860	0,401	580,726
	0,600	0,800	35,067	33,842	34,688	71,302	3,699	0,345	524,239
	0,500	0,900	27,555	26,593	27,257	71,294	3,506	0,289	459,959
	0,400	1,000	20,413	19,700	20,192	71,285	3,266	0,233	387,222
	0,300	1,100	13,748	13,268	13,600	71,276	2,952	0,176	301,967
	0,200	1,200	7,775	7,503	7,691	71,269	2,519	0,118	196,844
	0,100	1,300	2,879	2,779	2,848	71,263	1,880	0,059	84,931
	0,048	1,352	1,000	0,965	0,989	71,259	1,357	0,029	32,791
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	71,116	0,025	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 4

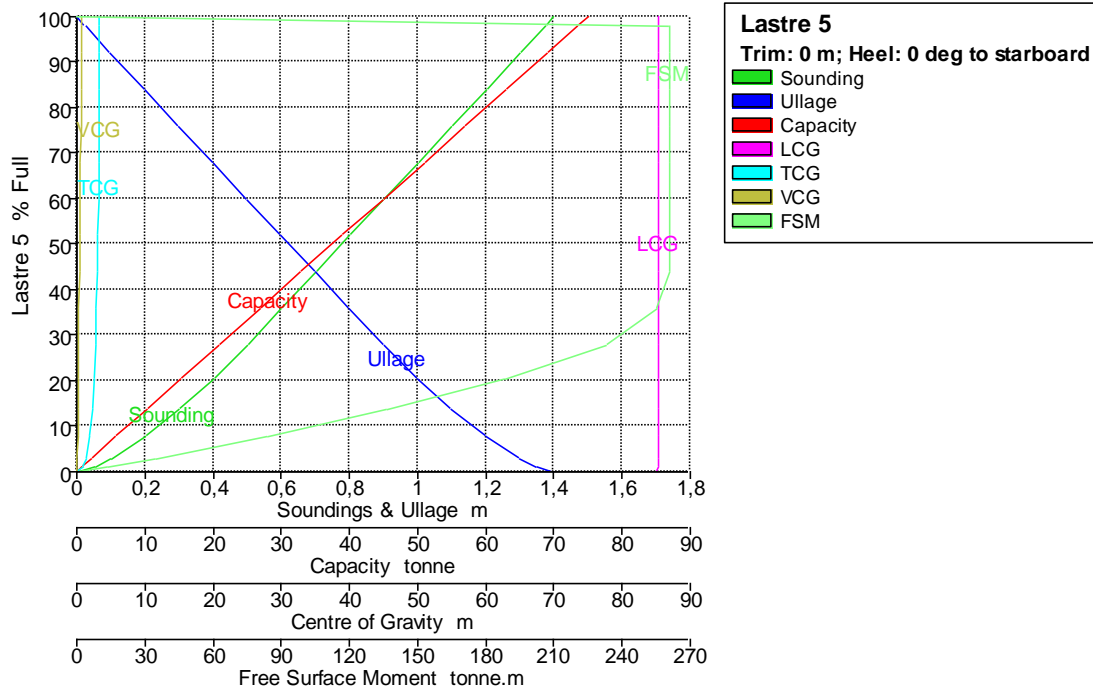
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 4	1,400	0,000	100,000	96,506	98,919	71,356	-4,388	0,772	0,000
	1,376	0,024	98,000	94,576	96,940	71,355	-4,379	0,760	634,799
	1,374	0,026	97,900	94,479	96,841	71,355	-4,379	0,759	634,799
	1,300	0,100	91,811	88,603	90,818	71,352	-4,351	0,721	634,799
	1,200	0,200	83,622	80,701	82,718	71,347	-4,307	0,669	634,799
	1,100	0,300	75,433	72,798	74,618	71,341	-4,254	0,617	634,799
	1,000	0,400	67,245	64,895	66,518	71,334	-4,187	0,564	634,799
	0,900	0,500	59,058	56,995	58,420	71,325	-4,102	0,510	632,293
	0,800	0,600	50,910	49,131	50,360	71,316	-3,994	0,456	616,076
	0,700	0,700	42,879	41,380	42,415	71,308	-3,860	0,401	580,726
	0,600	0,800	35,067	33,842	34,688	71,302	-3,699	0,345	524,239
	0,500	0,900	27,555	26,593	27,257	71,294	-3,506	0,289	459,959
	0,400	1,000	20,413	19,700	20,192	71,285	-3,266	0,233	387,222
	0,300	1,100	13,748	13,268	13,600	71,276	-2,952	0,176	301,967
	0,200	1,200	7,775	7,503	7,691	71,269	-2,519	0,118	196,844
	0,100	1,300	2,879	2,779	2,848	71,263	-1,880	0,059	84,931
	0,048	1,352	1,000	0,965	0,989	71,259	-1,357	0,029	32,791
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	71,116	-0,025	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 5

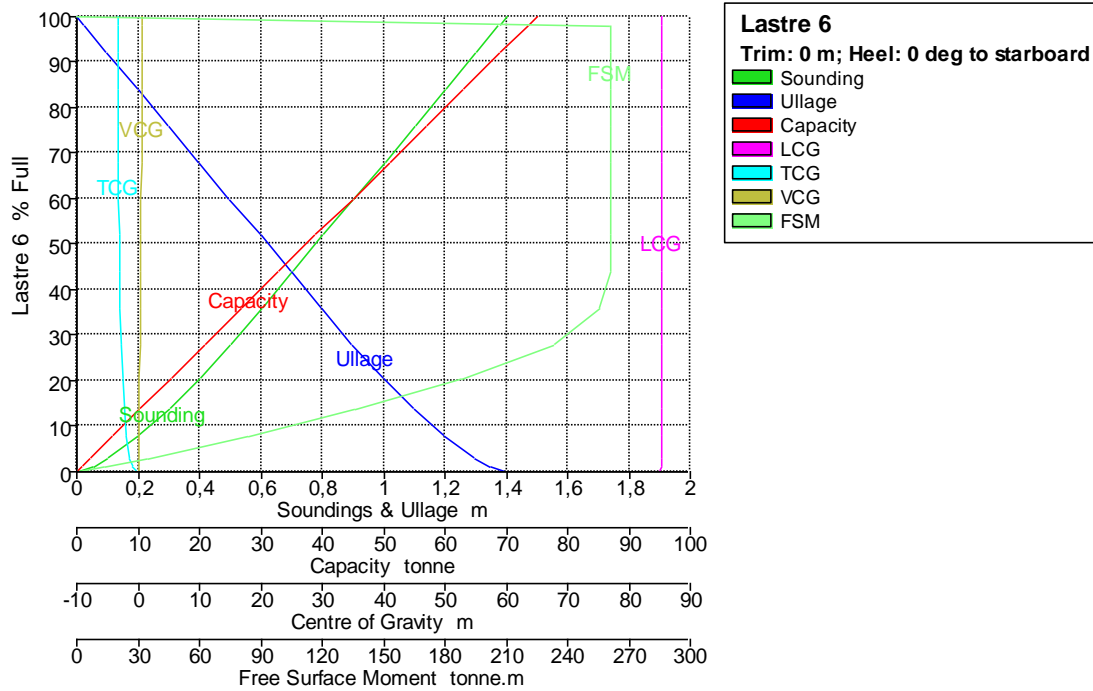
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 5	1,400	0,000	100,000	73,128	74,956	85,362	3,326	0,768	0,000
	1,375	0,025	98,000	71,665	73,457	85,361	3,321	0,755	261,166
	1,374	0,026	97,900	71,592	73,382	85,361	3,321	0,754	261,166
	1,300	0,100	91,962	67,250	68,931	85,358	3,305	0,717	261,166
	1,200	0,200	83,925	61,372	62,906	85,354	3,280	0,666	261,166
	1,100	0,300	75,887	55,495	56,882	85,350	3,249	0,615	261,166
	1,000	0,400	67,850	49,617	50,857	85,344	3,211	0,563	261,166
	0,900	0,500	59,812	43,739	44,833	85,336	3,163	0,511	261,166
	0,800	0,600	51,775	37,862	38,808	85,326	3,099	0,458	261,166
	0,700	0,700	43,737	31,984	32,784	85,313	3,013	0,405	261,166
	0,600	0,800	35,719	26,120	26,773	85,295	2,890	0,350	255,211
	0,500	0,900	27,854	20,369	20,878	85,281	2,718	0,293	233,106
	0,400	1,000	20,387	14,908	15,281	85,277	2,496	0,235	187,954
	0,300	1,100	13,569	9,923	10,171	85,273	2,224	0,177	135,911
	0,200	1,200	7,594	5,553	5,692	85,268	1,876	0,118	83,552
	0,100	1,300	2,775	2,029	2,080	85,259	1,380	0,060	34,276
	0,050	1,350	1,000	0,731	0,750	85,250	1,001	0,030	13,337
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	85,000	0,013	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 6

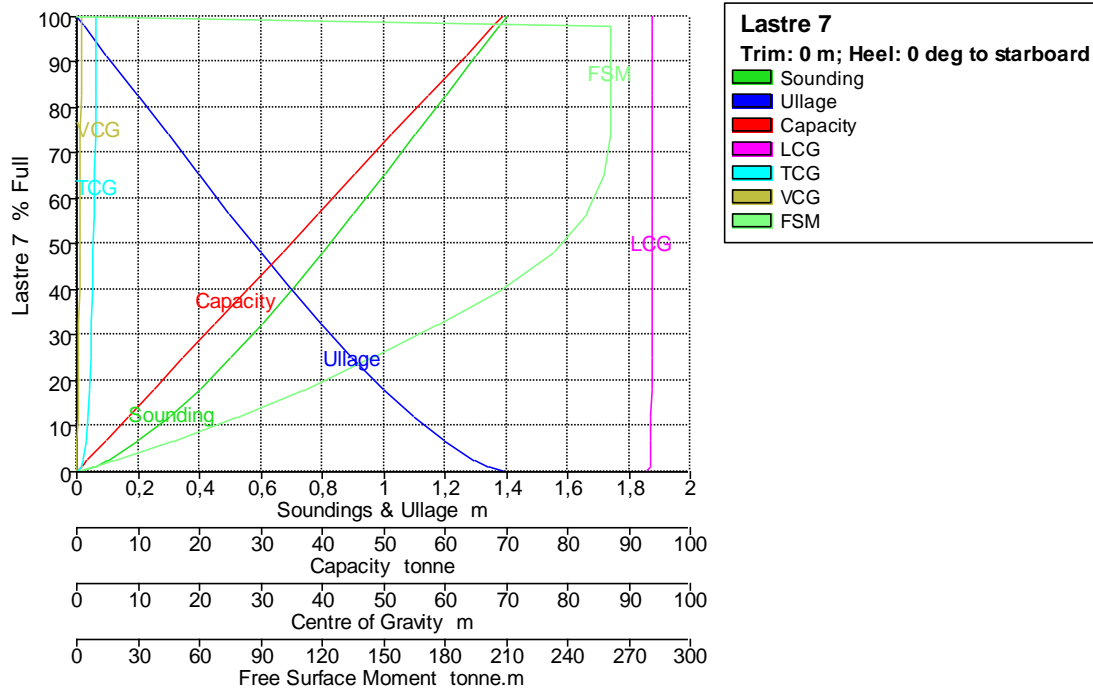
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 6	1,400	0,000	100,000	73,128	74,956	85,362	-3,326	0,768	0,000
	1,375	0,025	98,000	71,665	73,457	85,361	-3,321	0,755	261,166
	1,374	0,026	97,900	71,592	73,382	85,361	-3,321	0,754	261,166
	1,300	0,100	91,962	67,250	68,931	85,358	-3,305	0,717	261,166
	1,200	0,200	83,925	61,372	62,906	85,354	-3,280	0,666	261,166
	1,100	0,300	75,887	55,495	56,882	85,350	-3,249	0,615	261,166
	1,000	0,400	67,850	49,617	50,857	85,344	-3,211	0,563	261,166
	0,900	0,500	59,812	43,739	44,833	85,336	-3,163	0,511	261,166
	0,800	0,600	51,775	37,862	38,808	85,326	-3,099	0,458	261,166
	0,700	0,700	43,737	31,984	32,784	85,313	-3,013	0,405	261,166
	0,600	0,800	35,719	26,120	26,773	85,295	-2,890	0,350	255,211
	0,500	0,900	27,854	20,369	20,878	85,281	-2,718	0,293	233,106
	0,400	1,000	20,387	14,908	15,281	85,277	-2,496	0,235	187,954
	0,300	1,100	13,569	9,923	10,171	85,273	-2,224	0,177	135,911
	0,200	1,200	7,594	5,553	5,692	85,268	-1,876	0,118	83,552
	0,100	1,300	2,775	2,029	2,080	85,259	-1,380	0,060	34,276
	0,050	1,350	1,000	0,731	0,750	85,250	-1,001	0,030	13,337
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	85,000	-0,013	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 7

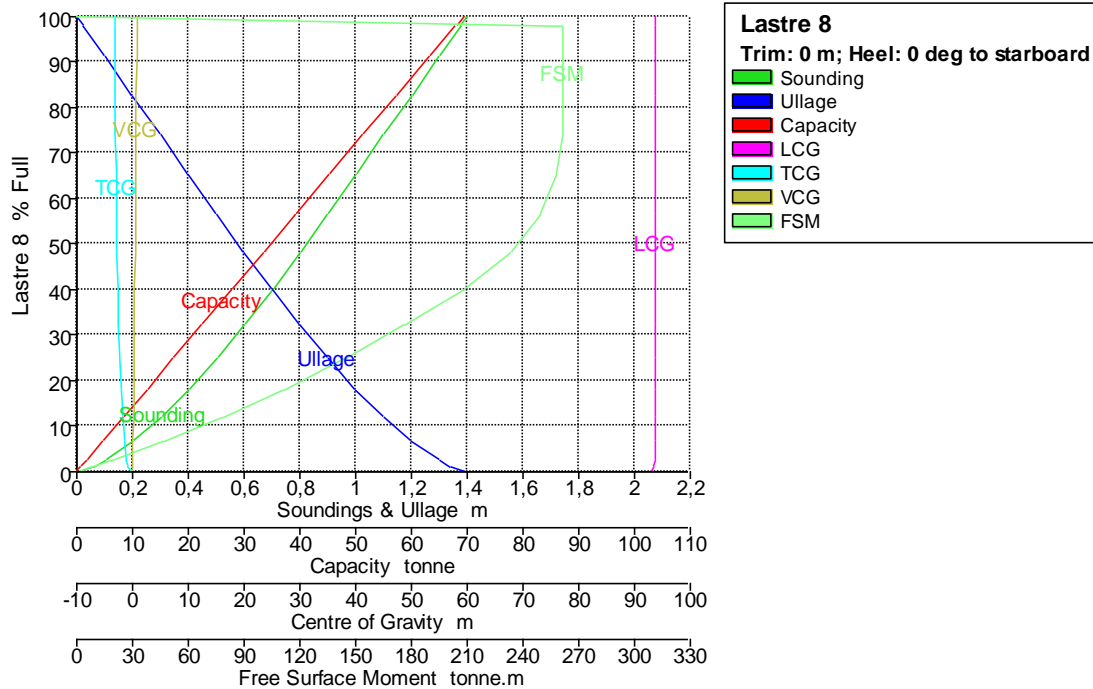
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 7	1,400	0,000	100,000	67,613	69,304	93,723	3,151	0,797	0,000
	1,377	0,023	98,000	66,261	67,918	93,721	3,143	0,785	261,166
	1,376	0,024	97,900	66,193	67,848	93,721	3,142	0,784	261,166
	1,300	0,100	91,307	61,736	63,279	93,716	3,111	0,744	261,166
	1,200	0,200	82,614	55,858	57,255	93,707	3,063	0,691	261,166
	1,100	0,300	73,921	49,980	51,230	93,696	3,004	0,637	261,147
	1,000	0,400	65,241	44,112	45,215	93,683	2,929	0,582	257,981
	0,900	0,500	56,632	38,291	39,248	93,670	2,837	0,526	249,109
	0,800	0,600	48,176	32,573	33,388	93,660	2,724	0,469	233,296
	0,700	0,700	39,983	27,034	27,710	93,654	2,591	0,412	208,153
	0,600	0,800	32,183	21,760	22,304	93,649	2,441	0,354	175,852
	0,500	0,900	24,850	16,802	17,222	93,644	2,269	0,296	143,618
	0,400	1,000	18,057	12,209	12,514	93,636	2,069	0,237	110,932
	0,300	1,100	11,913	8,055	8,256	93,627	1,829	0,179	78,189
	0,200	1,200	6,582	4,450	4,562	93,612	1,526	0,120	46,495
	0,100	1,300	2,347	1,587	1,627	93,582	1,101	0,060	18,046
	0,057	1,343	1,000	0,676	0,693	93,551	0,833	0,035	8,006
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	93,067	0,006	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 8

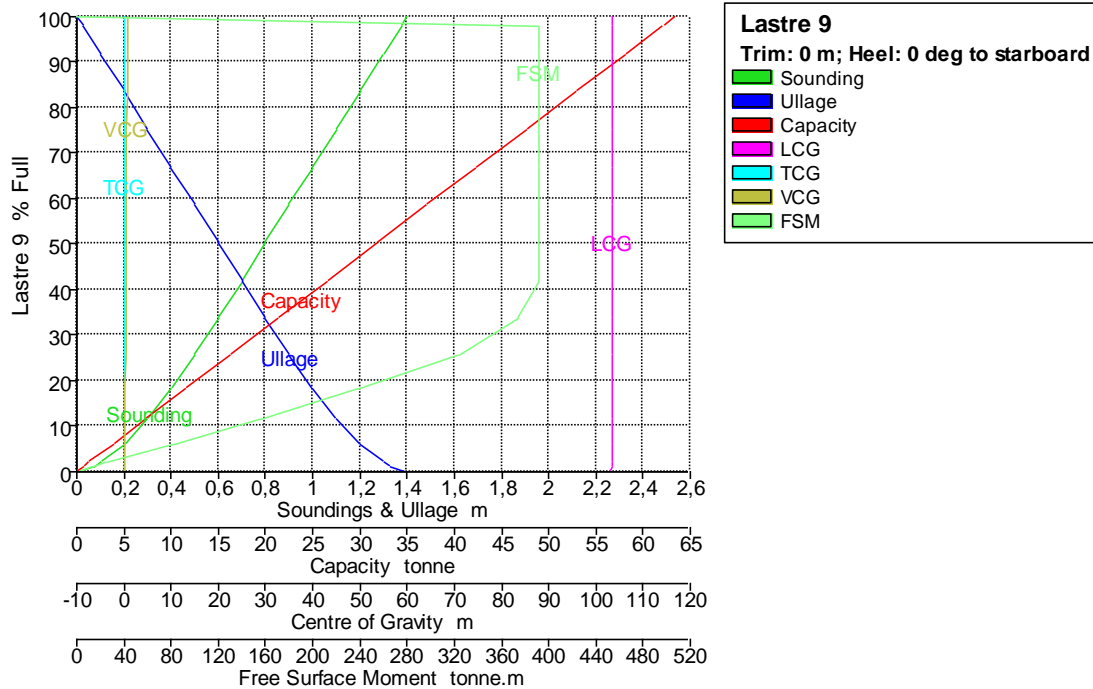
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 8	1,400	0,000	100,000	67,613	69,304	93,723	-3,151	0,797	0,000
	1,377	0,023	98,000	66,261	67,918	93,721	-3,143	0,785	261,166
	1,376	0,024	97,900	66,193	67,848	93,721	-3,142	0,784	261,166
	1,300	0,100	91,307	61,736	63,279	93,716	-3,111	0,744	261,166
	1,200	0,200	82,614	55,858	57,255	93,707	-3,063	0,691	261,166
	1,100	0,300	73,921	49,980	51,230	93,696	-3,004	0,637	261,147
	1,000	0,400	65,241	44,112	45,215	93,683	-2,929	0,582	257,981
	0,900	0,500	56,632	38,291	39,248	93,670	-2,837	0,526	249,109
	0,800	0,600	48,176	32,573	33,388	93,660	-2,724	0,469	233,296
	0,700	0,700	39,983	27,034	27,710	93,654	-2,591	0,412	208,153
	0,600	0,800	32,183	21,760	22,304	93,649	-2,441	0,354	175,852
	0,500	0,900	24,850	16,802	17,222	93,644	-2,269	0,296	143,618
	0,400	1,000	18,057	12,209	12,514	93,636	-2,069	0,237	110,932
	0,300	1,100	11,913	8,055	8,256	93,627	-1,829	0,179	78,189
	0,200	1,200	6,582	4,450	4,562	93,612	-1,526	0,120	46,495
	0,100	1,300	2,347	1,587	1,627	93,582	-1,101	0,060	18,046
	0,057	1,343	1,000	0,676	0,693	93,551	-0,833	0,035	8,006
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	93,067	-0,006	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 9

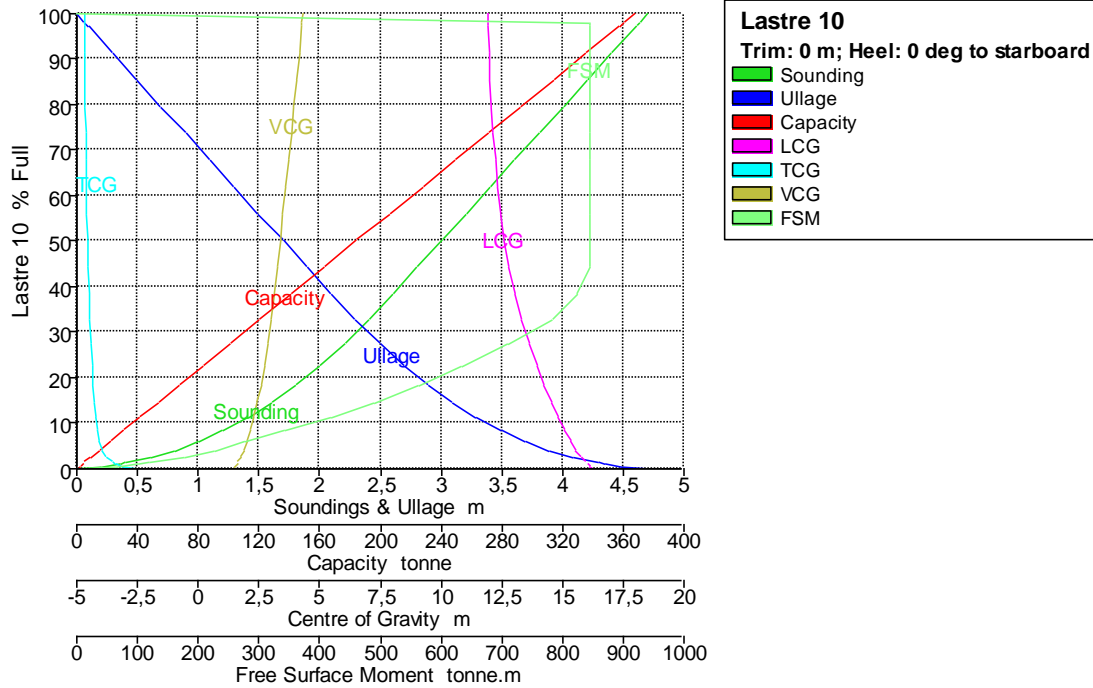
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 9	1,400	0,000	100,000	61,798	63,343	103,561	0,000	0,787	0,000
	1,376	0,024	98,000	60,562	62,077	103,561	0,000	0,774	392,246
	1,375	0,025	97,900	60,501	62,013	103,561	0,000	0,774	392,246
	1,300	0,100	91,688	56,662	58,078	103,558	0,000	0,735	392,246
	1,200	0,200	83,376	51,525	52,813	103,554	0,000	0,684	392,246
	1,100	0,300	75,064	46,388	47,548	103,549	0,000	0,633	392,246
	1,000	0,400	66,751	41,251	42,283	103,542	0,000	0,581	392,246
	0,900	0,500	58,439	36,115	37,017	103,534	0,000	0,528	392,246
	0,800	0,600	50,127	30,978	31,752	103,523	0,000	0,475	392,246
	0,700	0,700	41,815	25,841	26,487	103,508	0,000	0,420	391,824
	0,600	0,800	33,555	20,736	21,255	103,489	0,000	0,363	373,860
	0,500	0,900	25,555	15,793	16,188	103,473	0,000	0,305	323,115
	0,400	1,000	18,147	11,215	11,495	103,462	0,000	0,245	238,135
	0,300	1,100	11,594	7,165	7,344	103,447	0,000	0,185	155,079
	0,200	1,200	6,090	3,763	3,857	103,423	0,000	0,124	81,612
	0,100	1,300	1,958	1,210	1,240	103,375	0,000	0,063	24,746
	0,067	1,333	1,000	0,618	0,633	103,344	0,000	0,043	11,783
	0,000	1,400	0,000	0,000	0,000	103,159	0,000	0,000	0,000

Tank Calibrations - Lastre 10

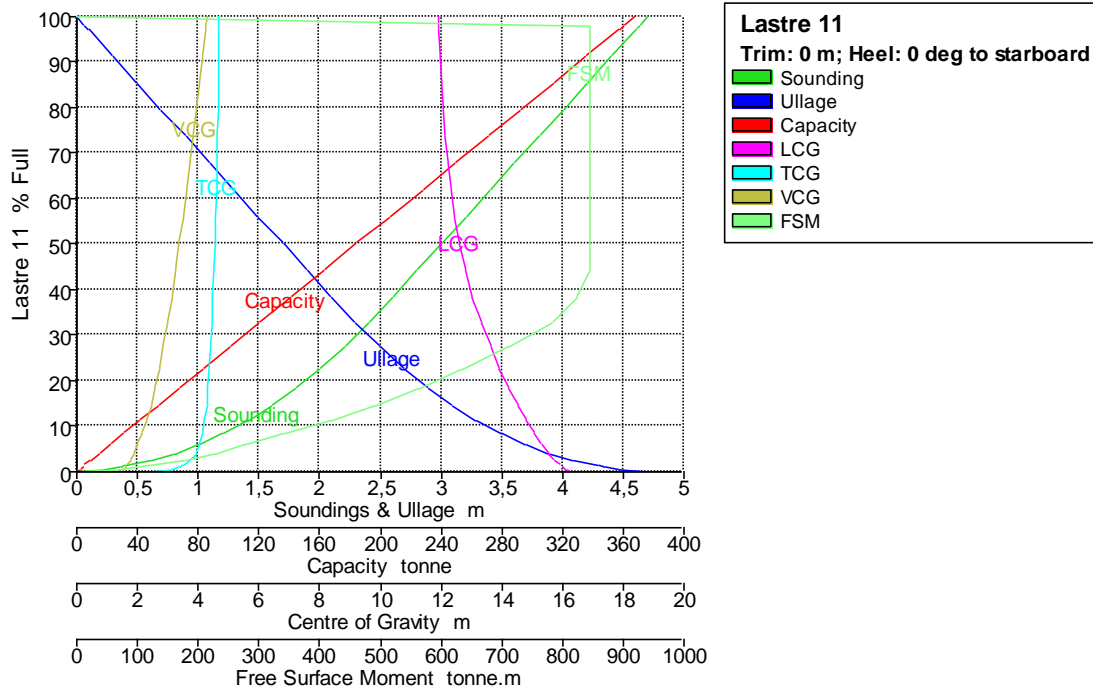
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 10	4,700	0,000	100,000	358,787	367,756	11,900	-4,679	4,313	0,000
	4,632	0,068	98,000	351,611	360,401	11,914	-4,676	4,278	846,397
	4,628	0,072	97,900	351,252	360,034	11,915	-4,676	4,276	846,397
	4,600	0,100	97,063	348,250	356,956	11,921	-4,675	4,261	846,397
	4,400	0,300	91,190	327,176	335,355	11,968	-4,667	4,155	846,397
	4,200	0,500	85,316	306,102	313,754	12,021	-4,658	4,049	846,397
	4,000	0,700	79,442	285,028	292,154	12,081	-4,647	3,941	846,397
	3,800	0,900	73,569	263,954	270,553	12,152	-4,635	3,833	846,397
	3,600	1,100	67,695	242,880	248,952	12,234	-4,621	3,723	846,397
	3,400	1,300	61,821	221,806	227,351	12,332	-4,604	3,611	846,397
	3,200	1,500	55,948	200,732	205,751	12,451	-4,583	3,497	846,397
	3,000	1,700	50,074	179,658	184,150	12,598	-4,557	3,379	846,397
	2,800	1,900	44,201	158,586	162,550	12,784	-4,525	3,257	845,391
	2,600	2,100	38,355	137,611	141,051	13,021	-4,485	3,128	823,024
	2,400	2,300	32,647	117,135	120,063	13,315	-4,445	2,993	781,450
	2,200	2,500	27,343	98,101	100,554	13,626	-4,408	2,854	708,242
	2,000	2,700	22,543	80,883	82,905	13,934	-4,370	2,717	633,748
	1,800	2,900	18,258	65,508	67,146	14,233	-4,329	2,580	560,880
	1,600	3,100	14,474	51,931	53,229	14,522	-4,281	2,443	488,718
	1,400	3,300	11,175	40,094	41,096	14,798	-4,225	2,307	416,113
	1,200	3,500	8,341	29,927	30,676	15,061	-4,153	2,172	342,091
	1,000	3,700	5,950	21,347	21,881	15,311	-4,057	2,017	275,326
	0,800	3,900	3,978	14,272	14,629	15,549	-3,926	1,905	225,937
	0,600	4,100	2,413	8,657	8,874	15,772	-3,739	1,772	176,470
	0,400	4,300	1,244	4,463	4,574	15,975	-3,460	1,632	118,107
	0,349	4,351	1,000	3,588	3,678	16,033	-3,369	1,610	100,381
	0,200	4,500	0,451	1,618	1,658	16,152	-3,048	1,450	62,857
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	16,308	-2,490	1,400	0,000

Tank Calibrations - Lastre 11

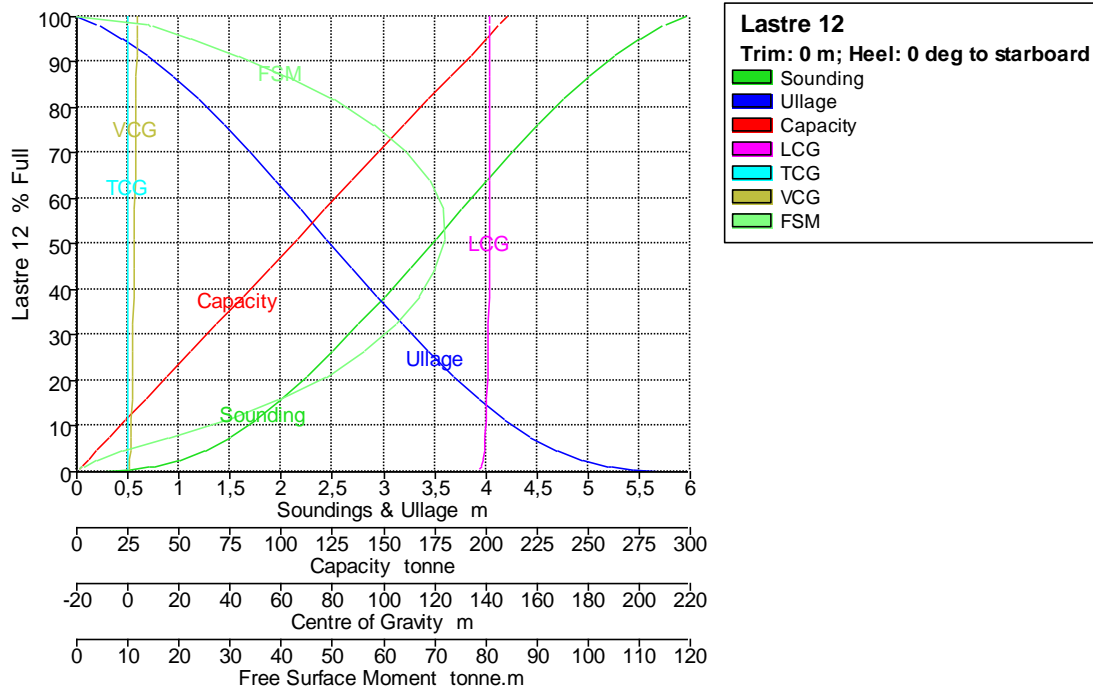
Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
Permeability = 98 %
Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Sounding m	Ullage m	% Full	Capacity m³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 11	4,700	0,000	100,000	358,787	367,756	11,900	4,679	4,313	0,000
	4,632	0,068	98,000	351,611	360,401	11,914	4,676	4,278	846,397
	4,628	0,072	97,900	351,252	360,034	11,915	4,676	4,276	846,397
	4,600	0,100	97,063	348,250	356,956	11,921	4,675	4,261	846,397
	4,400	0,300	91,190	327,176	335,355	11,968	4,667	4,155	846,397
	4,200	0,500	85,316	306,102	313,754	12,021	4,658	4,049	846,397
	4,000	0,700	79,442	285,028	292,154	12,081	4,647	3,941	846,397
	3,800	0,900	73,569	263,954	270,553	12,152	4,635	3,833	846,397
	3,600	1,100	67,695	242,880	248,952	12,234	4,621	3,723	846,397
	3,400	1,300	61,821	221,806	227,351	12,332	4,604	3,611	846,397
	3,200	1,500	55,948	200,732	205,751	12,451	4,583	3,497	846,397
	3,000	1,700	50,074	179,658	184,150	12,598	4,557	3,379	846,397
	2,800	1,900	44,201	158,586	162,550	12,784	4,525	3,257	845,391
	2,600	2,100	38,355	137,611	141,051	13,021	4,485	3,128	823,024
	2,400	2,300	32,647	117,135	120,063	13,315	4,445	2,993	781,450
	2,200	2,500	27,343	98,101	100,554	13,626	4,408	2,854	708,242
	2,000	2,700	22,543	80,883	82,905	13,934	4,370	2,717	633,748
	1,800	2,900	18,258	65,508	67,146	14,233	4,329	2,580	560,880
	1,600	3,100	14,474	51,931	53,229	14,522	4,281	2,443	488,718
	1,400	3,300	11,175	40,094	41,096	14,798	4,225	2,307	416,113
	1,200	3,500	8,341	29,927	30,676	15,061	4,153	2,172	342,091
	1,000	3,700	5,950	21,347	21,881	15,311	4,057	2,017	275,326
	0,800	3,900	3,978	14,272	14,629	15,549	3,926	1,905	225,937
	0,600	4,100	2,413	8,657	8,874	15,772	3,739	1,772	176,470
	0,400	4,300	1,244	4,463	4,574	15,975	3,460	1,632	118,107
	0,349	4,351	1,000	3,588	3,678	16,033	3,369	1,610	100,381
	0,200	4,500	0,451	1,618	1,658	16,152	3,048	1,450	62,857
	0,000	4,700	0,000	0,000	0,000	16,308	2,490	1,400	0,000

Tank Calibrations - Lastre 12

Fluid Type = Water Ballast Specific gravity = 1,025
 Permeability = 98 %
 Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg to starboard



Tank Name	Soundin g m	Ullage m	% Full	Capacity m ³	Capacity tonne	LCG m	TCG m	VCG m	FSM tonne.m
Lastre 12	5,949	0,000	100,000	205,326	210,459	141,492	0,000	3,584	0,000
	5,750	0,199	98,187	201,604	206,644	141,533	0,000	3,539	14,101
	5,732	0,217	98,000	201,219	206,250	141,537	0,000	3,535	14,670
	5,723	0,226	97,900	201,014	206,039	141,539	0,000	3,532	14,976
	5,500	0,449	95,153	195,373	200,257	141,583	0,000	3,468	22,577
	5,250	0,699	91,288	187,437	192,123	141,621	0,000	3,381	31,916
	5,000	0,949	86,714	178,046	182,497	141,644	0,000	3,282	41,407
	4,750	1,199	81,582	167,509	171,697	141,654	0,000	3,172	50,342
	4,500	1,449	75,969	155,983	159,883	141,646	0,000	3,054	58,265
	4,250	1,699	70,018	143,765	147,360	141,623	0,000	2,929	64,593
	4,000	1,949	63,812	131,022	134,298	141,582	0,000	2,798	69,124
	3,750	2,199	57,454	117,967	120,916	141,524	0,000	2,662	71,556
	3,500	2,449	51,042	104,803	107,423	141,449	0,000	2,522	71,858
	3,250	2,699	44,657	91,693	93,985	141,354	0,000	2,378	70,211
	3,000	2,949	38,396	78,836	80,807	141,241	0,000	2,228	67,045
	2,750	3,199	32,278	66,275	67,932	141,097	0,000	2,079	62,443
	2,500	3,449	26,398	54,202	55,557	140,917	0,000	1,925	56,204
	2,250	3,699	20,875	42,863	43,934	140,705	0,000	1,762	48,526
	2,000	3,949	15,757	32,352	33,161	140,426	0,000	1,598	39,312
	1,750	4,199	11,233	23,065	23,642	140,098	0,000	1,424	28,867
	1,500	4,449	7,462	15,321	15,704	139,727	0,000	1,243	17,672
	1,250	4,699	4,580	9,403	9,638	139,339	0,000	1,062	8,774
	1,000	4,949	2,520	5,175	5,304	138,917	0,000	0,881	3,679
	0,750	5,199	1,165	2,392	2,452	138,436	0,000	0,700	1,216
	0,709	5,240	1,000	2,053	2,105	138,347	0,000	0,671	0,979
	0,500	5,449	0,387	0,794	0,814	137,834	0,000	0,519	0,260
	0,250	5,699	0,056	0,115	0,118	137,020	0,000	0,337	0,019
	0,000	5,949	0,000	0,000	0,000	135,834	0,000	0,151	0,000



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo V

CUADERNO 5: SITUACIONES DE CARGA



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 Criterios de estabilidad aplicables	5
4 Consideraciones previas al estudio de estabilidad	11
4.1 Peso en rosca	11
4.2 Peso muerto.....	11
4.2.1 Pesos fijos	11
4.2.2 Pesos variables.....	12
5 Corrección por superficies libres	14
6 Condiciones de carga.....	17
6.1 Salida a plena carga.....	17
6.2 Llegada a puerto	22
6.3 Condición intermedia.....	27
6.4 Resumen condiciones de carga	31
7 Anexo V.I: Resultados estabilidad MaxSurf	33

2 INTRODUCCIÓN

En este cuaderno el objetivo es comprobar el cumplimiento de los criterios de estabilidad para las diferentes situaciones de carga, de forma que se garantice la seguridad y bienestar de todas las personas que se encuentren a bordo.

Para realizar este cuaderno nos basaremos en los parámetros obtenidos en los cuadernos previos, así como en las formas del Cuaderno 3 y el compartimentado llevado a cabo en el Cuaderno 4.

A modo de resumen se muestra a continuación una tabla con los parámetros del buque proyecto obtenidos previamente:

Tabla 1: Resumen parámetros buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos
Grupos generadores	4x3600	kW

3 CRITERIOS DE ESTABILIDAD APLICABLES

Los criterios a cumplir por el buque proyecto se pueden encontrar recogidos en la Disposición 5295 del BOE que aborda la adopción del Código Internacional de Estabilidad sin Avería, 2008 (Código IS 2008) adoptado mediante Resolución MSC 267 (85) y en concordancia con la resolución A.749(18): Código de estabilidad sin avería para todos los tipos de buques regidos por los instrumentos de la OMI), así como con la Sociedad de Clasificación pertinente.

En primer lugar, el buque proyecto debe cumplir los criterios generales que son aquellos relativos a las propiedades de la curva de brazos adrizantes y aquellos relativos al viento (criterio meteorológico). Además, también es necesario cumplir una serie de requisitos a mayores por el hecho de tratarse de un buque de pasajeros.

A continuación, se exponen todos los criterios a cumplir por el buque proyecto:

1. Criterios relativos a las propiedades de la curva de brazos adrizantes (punto 2.2 del BOE):

2.2.1 El área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) no será inferior a 0,055 metro-radián hasta un ángulo de escora $\varphi = 30^\circ$ ni inferior a 0,09 metro-radián hasta $\varphi = 40^\circ$, o hasta el ángulo de inundación descendente φ_r si éste es inferior a 40° . Además, el área bajo la curva de brazos adrizantes (curva de brazos GZ) entre los ángulos de escora de 30° y 40° , o entre 30° y φ_r si este ángulo es inferior a 40° , no será inferior a 0,03 metro-radián.

2.2.2 El brazo adrizante GZ será como mínimo de 0,2 m a un ángulo de escora igual o superior a 30° .

2.2.3 El brazo adrizante máximo corresponderá a un ángulo de escora no inferior a 25° . Si esto no es posible, podrán aplicarse, a reserva de lo que apruebe la Administración, criterios basados en un nivel de seguridad equivalente.⁶

2.2.4 La altura metacéntrica inicial GM_0 no será inferior a 0,15 m.

2. Criterio de viento y balance intensos o criterio meteorológico (punto 2.3):

2.3.1 Habrá que demostrar la aptitud del buque para resistir los efectos combinados del viento de través y del balance, con referencia a la figura 2.3.1, del modo siguiente:

- .1 se someterá el buque a la presión de un viento constante que actúe perpendicularmente al plano de crujía, lo que dará como resultado el correspondiente brazo escorante (I_{w1});
- .2 se supondrá que a partir del ángulo de equilibrio resultante (φ_0), el buque se balancea por la acción de las olas hasta alcanzar un ángulo de balance (φ_1) a barlovento. El ángulo de escora provocado por un viento constante (φ_0) no deberá ser superior a 16° o al 80 % del ángulo de inmersión del borde de la cubierta, si este ángulo es menor;
- .3 a continuación se someterá al buque a la presión de una ráfaga de viento que dará como resultado el correspondiente brazo escorante (I_{w2}); y
- .4 en estas circunstancias, el área b debe ser igual o superior al área a , como se indica en la figura 2.3.1 *infra*:

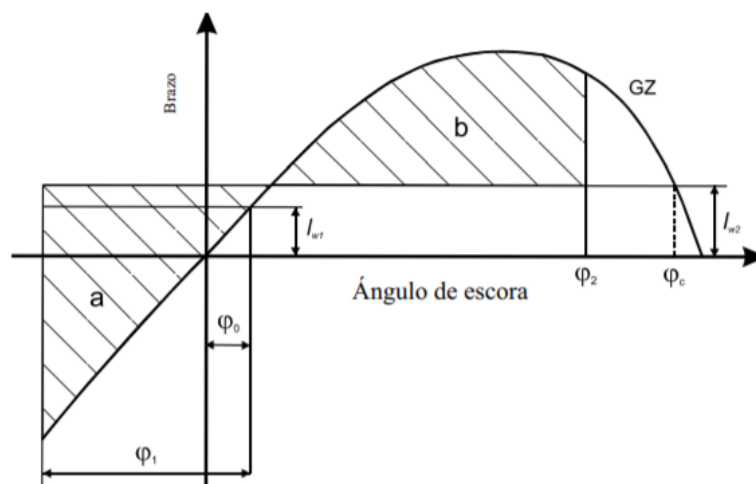


Figura 2.3.1: Viento y balance intensos
 donde los ángulos de la figura 2.3.1 se definen del modo siguiente:

- φ_0 = ángulo de escora provocado por un viento constante
- φ_1 = ángulo de balance a barlovento debido a la acción de las olas (véanse 2.3.1.2, 2.3.4 y la nota a pie de página)
- φ_2 = ángulo de inundación descendente (φ_1), o 50° , o φ_c , tomando de estos valores el menor,

siendo:

φ_1 = ángulo de escora al que se sumergen las aberturas del casco, superestructuras o casetas que no puedan cerrarse de modo estanco a la intemperie. Al aplicar este criterio no hará falta considerar abiertas las pequeñas aberturas por las que no pueda producirse inundación progresiva

φ_c = ángulo de la segunda intersección entre la curva de brazos escorantes l_{w2} y la de brazos GZ.

2.3.2 Los brazos escorantes l_{w1} y l_{w2} provocados por el viento, a que se hace referencia en 2.3.1.1 y 2.3.1.3, son valores constantes a todos los ángulos de inclinación y se calcularán del modo siguiente:

$$l_{w1} = \frac{P \cdot A \cdot Z}{1000 \cdot g \cdot \Delta} \quad (m) \quad y$$

$$l_{w2} = 1,5 \cdot l_{w1} \quad (m)$$

donde:

P = presión del viento de 504 Pa. El valor de P utilizado para los buques en servicio restringido podrá reducirse a reserva de que lo apruebe la Administración

A = área lateral proyectada de la parte del buque y de la cubertada que quede por encima de la flotación (m^2)

Z = distancia vertical desde el centro del área A hasta el centro del área lateral de la obra viva, o aproximadamente hasta el punto medio del calado medio (m)

Δ = desplazamiento (t)

g = aceleración debida a la gravedad de $9,81 \text{ m/s}^2$.

2.3.3 Si la Administración los considera satisfactorios, podrán aceptarse otros medios para determinar el brazo escorante (l_{wl}) como alternativa equivalente al cálculo que figura en 2.3.2. Cuando se realicen dichas pruebas alternativas, se hará referencia a las Directrices elaboradas por la Organización.⁷ La velocidad del viento utilizada en las pruebas será igual a 26 m/s en tamaño natural con un perfil de la velocidad uniforme. El valor de la velocidad del viento utilizado para los buques en servicios restringidos podrá reducirse a un valor que la Administración considere satisfactorio.

2.3.4 El ángulo de balance (ϕ_1)⁸ a que se hace referencia en 2.3.1.2 se calculará del modo siguiente:

$$\phi_1 = 109 \cdot k \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot s} \quad (\text{grados})$$

donde:

X_1 = factor indicado en el cuadro 2.3.4-1

X_2 = factor indicado en el cuadro 2.3.4-2

k = factor que corresponde a lo siguiente:

k = 1,0 respecto de un buque de pantoque redondo que no tenga quillas de balance ni quilla de barra

k = 0,7 respecto de un buque de pantoque quebrado

k = el valor que se indica en el cuadro 2.3.4-3 respecto de un buque con quillas de balance, quilla de barra o ambas

r = $0,73 + 0,6 \text{ OG}/d$

donde:

OG = $\text{KG} - d$

d = calado medio de trazado del buque (m)

s = factor indicado en el cuadro 2.3.4-4, donde T es el periodo natural de balance del buque. Si no se dispone de información suficiente, puede utilizarse la siguiente aproximación:

$$\text{Periodo de balance} \quad T = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{\text{GM}}} \quad (\text{s})$$

donde:

$$C = 0,373 + 0,023(B/d) - 0,043(L_{wl}/100)$$

Los símbolos que aparecen en los cuadros 2.3.4-1, 2.3.4-2, 2.3.4-3 y 2.3.4-4 y en la fórmula del periodo de balance tienen los siguientes significados:

L_{wl} = eslora en la flotación del buque (m)

B = manga de trazado del buque (m)

d = calado medio de trazado del buque (m)

C_B = coeficiente de bloque (-)

A_k = área total de las quillas de balance o área de la proyección lateral de la quilla de barra, o suma de estas áreas (m²)

GM = altura metacéntrica corregida por el efecto de superficie libre (m).

Cuadro 2.3.4-1: Valores del factor X_1

B/d	X_1
$\leq 2,4$	1,0
2,5	0,98
2,6	0,96
2,7	0,95
2,8	0,93
2,9	0,91
3,0	0,90
3,1	0,88
3,2	0,86
3,4	0,82
$\geq 3,5$	0,80

Cuadro 2.3.4-2: Valores del factor X_2

C_B	X_2
$\leq 0,45$	0,75
0,50	0,82
0,55	0,89
0,60	0,95
0,65	0,97
$\geq 0,70$	1,00

Cuadro 2.3.4-3: Valores del factor k

$\frac{A_k \times 100}{L_{wl} \times B}$	k
0	1,0
1,0	0,98
1,5	0,95
2,0	0,88
2,5	0,79
3,0	0,74
3,5	0,72
$\geq 4,0$	0,70

Cuadro 2.3.4-4: Valores del factor s

T	s
≤ 6	0,100
7	0,098
8	0,093
12	0,065
14	0,053
16	0,044
18	0,038
≥ 20	0,035

(Los valores intermedios en los cuadros 1-4 se obtendrán por interpolación lineal)

2.3.5 Los cuadros y fórmulas descritos en 2.3.4 se basan en datos de buques que presentan las siguientes características:

- .1 B/d inferior a 3,5;
- .2 $(KG/d-1)$ entre -0,3 y 0,5; y
- .3 T inferior a 20 s.

En el caso de los buques cuyos parámetros rebasen los límites indicados *supra*, el ángulo de balance (ϕ_1) podrá determinarse también mediante experimentos con un modelo de buque de ese tipo utilizando el procedimiento descrito en la circular MSC.1/Circ.1200. Asimismo, la Administración podrá aceptar las estimaciones alternativas mencionadas para cualquier buque si lo estima oportuno.

Los parámetros empleados para configurar los criterios de viento en el programa fueron:

- $P=504.4$ Pa como determina el propio reglamento
- Área adicional expuesta de 3108m^2 obtenidos sobre el plano en la herramienta AutoCad
- Altura del centro del área =15 m (medidos sobre el plano)

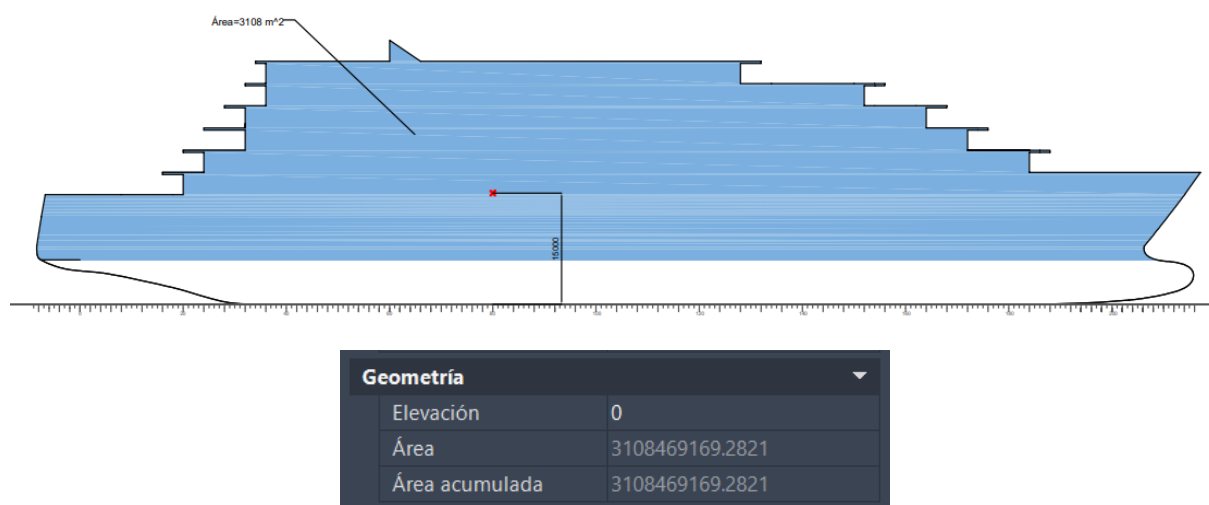


Figura 1: Área expuesta al viento y centro del área

3. Criterios especiales para buques de pasaje (punto 3.1):

Los buques de pasaje cumplirán las prescripciones de 2.2 y 2.3.

3.1.1 Además, el ángulo de escora producido por la aglomeración de pasajeros en una banda, tal como se define *infra*, no excederá de 10°.

3.1.1.1 Se supondrá una masa mínima de 75 kg por pasajero, si bien se permitirá aumentar este valor, a reserva de que lo apruebe la Administración. La Administración determinará además la masa y la distribución del equipaje.

3.1.1.2 La altura del centro de gravedad de los pasajeros se supondrá igual a:

- .1 1 m por encima del nivel de cubierta estando los pasajeros de pie. Si es necesario, se tendrán en cuenta la brusa y el arrufo de la cubierta; y
- .2 0,3 m por encima de los asientos estando los pasajeros sentados.

3.1.1.3 Se supondrá que los pasajeros y su equipaje se encuentran en los espacios destinados normalmente para ellos cuando se trate de evaluar el cumplimiento de los criterios que figuran en 2.2.1 a 2.2.4.

3.1.1.4 Al comprobar el cumplimiento de los criterios que figuran en 3.1.1 y 3.1.2, se supondrá que los pasajeros sin equipaje están distribuidos de modo que se produzca la combinación más desfavorable de momento escorante y/o de altura metacéntrica inicial que puedan darse en la práctica. A este respecto, no será necesario tomar un valor superior a cuatro personas por metro cuadrado.

3.1.2 Además, el ángulo de escora debido a una maniobra de giro no excederá de 10° si se calcula utilizando la fórmula siguiente:

$$M_R = 0,200 \cdot \frac{v_o^2}{L_{wl}} \cdot \Delta \cdot \left(KG - \frac{d}{2} \right)$$

donde:

M_R	=	momento escorante, en (kNm)
v_o	=	velocidad de servicio, en (m/s)
L_{wl}	=	eslora en la flotación del buque, en (m)
Δ	=	desplazamiento, en (t)
d	=	calado medio, en (m)
KG	=	altura del centro de gravedad sobre la línea de base, en (m).

Los parámetros empleados para configurar los criterios de virada y pasajeros a una banda en el programa fueron:

- Número de pasajeros =360
- Masa por pasajero= 75 kg como indica el reglamento con centro de gravedad a 1 metros sobre la cubierta sobre la que se ubique
- Distancia a crujía=12 m (semimanga del buque). Se considerará la situación más desfavorable que se corresponde con que todos los pasajeros se encuentren a una banda del buque. Si suponemos una media de 4 personas por metro cuadrado, que es el valor que nos aporta el reglamento como recomendable, es necesario comprobar la existencia de 90 m² disponibles a cada banda:

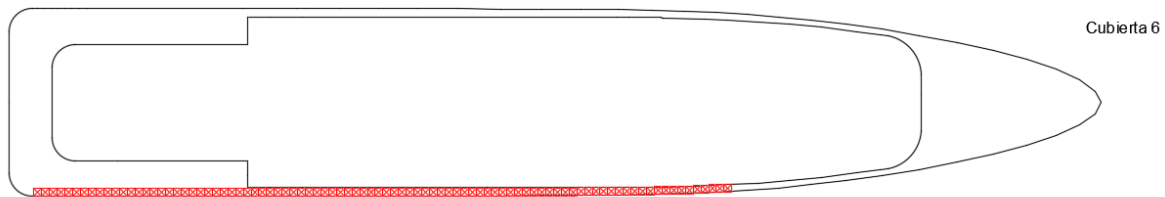


Figura 2: Comprobación superficie a cada banda

- Velocidad de giro = 16 nudos (velocidad de servicio)
- Radio de giro en función de L: 500%. Se supondrá un radio de giro 5 veces mayor a la eslora de flotación por tratarse de un valor habitual en la bibliografía.

En resumen:

- Área bajo la curva GZ a $30^\circ \geq 0.055 \text{ m} \cdot \text{rad}$
- Área bajo la curva GZ a 40° o ángulo de inundación $\geq 0.09 \text{ m} \cdot \text{rad}$
- Área bajo la curva GZ entre 30° y $40^\circ \geq 0.03 \text{ m} \cdot \text{rad}$
- GZ a 30° o mayor $\geq 0.2 \text{ m}$
- Ángulo de $GZ_{\text{máx}} \geq 25^\circ$
- $GM_0 \geq 0.15 \text{ m}$
- $\varphi_0 \leq 16^\circ$ o al 80% del ángulo de inmersión del borde de la cubierta
- $\text{Área}_b \geq \text{Área}_a$
- Ángulo de escora producido por la aglomeración de pasajeros $\leq 10^\circ$
- Ángulo de escora debido a maniobra de giro $\leq 10^\circ$

El mismo documento también especifica que situaciones o condiciones de carga deben estudiarse en el análisis de estabilidad:

3.4.1.1 Buques de pasaje:

- .1 buque en la condición de salida a plena carga, con la totalidad de provisiones y combustible y de pasajeros con su equipaje;
- .2 buque en la condición de llegada a plena carga, con la totalidad de pasajeros con su equipaje, pero con sólo el 10 % de provisiones y combustible;
- .3 buque sin carga pero con la totalidad de provisiones y combustible y de pasajeros con su equipaje; y
- .4 buque en las mismas condiciones que en 3.4.1.1.3 *supra*, pero con el 10 % de provisiones y combustible.

Sin embargo, como el buque proyecto es un buque crucero no hay carga salvo por el pasaje y su equipaje que supone un porcentaje muy pequeño del desplazamiento del buque y por lo que solo es necesario el estudio de dos casos de carga:

- Buque en la condición de salida a plena carga con la totalidad de provisiones y combustible y de pasajeros con su equipaje
- Buque en la condición de llegada a plena carga, con la totalidad de pasajeros y su equipaje, pero con solo el 10% de provisiones y combustible

4 CONSIDERACIONES PREVIAS AL ESTUDIO DE ESTABILIDAD

4.1 Peso en rosca

El peso en rosca del buque es el peso real del buque cuando está finalizado y listo para operar, pero se encuentra vacío. El peso en rosca se calculó previamente en el “Cuaderno 2: Cálculo de pesos y centros de gravedad del peso en rosca y de sus partidas correspondientes”. Para ello se dividió los pesos del buque en tres partidas: peso del acero, peso de la maquinaria y peso de los equipos restantes. A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 2: Resumen resultados peso en rosca

PESO EN ROSCA	Peso (t)	XG (m)	Mom. X (t*m)	KG (m)	Mom. Z (t*m)
Peso Aceros	6410,2	65,3	418778,4	9,7	62230,8
Peso Maquinaria	1458,7	40,2	58583,1	4,1	5933,4
Peso Equipos Restantes	3064,2	82,3	252083,4	16,2	49571,7
Margen (+10%)	1093,3	1,5	0,0	0,5	0,0
	12026,3	62,2	729444,9	10,3	117735,9

Por tanto, el peso en rosca total del buque será de 12089.8294 toneladas y el centro de gravedad estará ubicado a 61.3 metros de la perpendicular de popa ubicada en el eje vertical de la hélice azimutal y a una altura de 12.38m sobre la línea base. Este peso se trata, por tanto, de un peso fijo que es necesario considerar para todas las situaciones de carga.

4.2 Peso muerto

El peso muerto de un buque es el peso máximo en toneladas que un buque puede transportar. El peso muerto está formado por la carga (en este caso pasaje y equipaje), pertrechos, consumos (agua, víveres, combustible y aceite) y tripulación. Estos pesos también se calcularon de forma estimada en el Cuaderno 2. Las partidas del peso muerto podrán dividirse en pesos fijos y pesos variables. Los fijos se mantendrán constantes para todas las condiciones de carga y los pesos variables son lo que modificarán su valor en función de la situación.

4.2.1 Pesos fijos

Los pesos fijos estarán compuestos por la tripulación y los pertrechos.

Como establece la RPA la tripulación estará formada por 90 personas y se considerará un peso por tripulante de 125 kg (considerando tripulante + equipaje). Este valor se obtuvo del libro “Cálculo del desplazamiento” de Fernando Junco Ocampo.

$$90 \text{ tripulantes} * 125 \frac{\text{kg}}{\text{tripulante}} = 11.25 \text{ t}$$

Se supone el centro de gravedad de este peso en la cubierta 2 a 7.1 m sobre la línea base (suponiendo el centro de gravedad de las personas a 1 m sobre la cubierta) donde se encuentra la mayor parte de la habilitación de la tripulación y a 82.6 m a proa de la perpendicular de proa (centro de las zonas dedicadas a habilitación).

Los pertrechos se estimaron en 30 t y su ubicación preliminar serán los pañoles de la cubierta 2 situados a una altura igual a 6.1m y a 121.8 m a proa de la perpendicular de popa.

4.2.2 Pesos variables

Aquellos pesos que variarán de valor en las diferentes condiciones de carga. Están formados por:

- Pasaje

El peso del pasaje, siguiendo las recomendaciones del libro de “Cálculo del desplazamiento” de Fernando Junco Ocampo, se estimó en 200 kg por pasajero considerando también el equipaje. Por tanto, el peso total es de

$$360 \text{ pasajeros} * 200 \frac{\text{kg}}{\text{pasajero}} = 72 \text{ t}$$

Su centro de gravedad se ubicará a la altura de la cubierta 5 a 15.8 metros sobre la línea base y a 75.6 m de la perpendicular de popa.

- Víveres

El peso de los víveres se estimó considerando un consumo de 15 kg por persona y día, para un periodo total de 5 días y un margen del 10%.

$$P_{\text{víveres}} = 15 \frac{\text{kg}}{\text{pers} * \text{día}} * 450 \text{ personas} * 5 \text{ días} * 1.1 = 37 \text{ t}$$

Cuando se suponga un aprovisionamiento del 10% de los víveres el peso será de 3,7 t y del 50, 18.5 t.

Los víveres se ubicarán en las gambuzas a una altura sobre la línea base de 8.8m y a una distancia de 25.2 metros de la perpendicular de popa.

- Consumibles

El peso de los consumibles se obtuvo a partir del compartimentado del cuaderno 4. Los volúmenes de tanques obtenidos gracias a la herramienta MaxSurf Stability fueron los siguientes:

Tabla 3: Capacidades de los tanques

Tanque	Capacidad (m ³)	Densidad	Peso 100% (t)	Peso 10% (t)	Peso 50% (t)
Almacén 1	253,8	0,8	213,2	21,3	106,6
Almacén 2	241,4	0,8	202,8	20,3	101,4
Almacén 3	241,4	0,8	202,8	20,3	101,4
Almacén 4	253,8	0,8	213,2	21,3	106,6
Uso diario 1	34,7	0,8	29,1	2,9	14,6
Uso diario 2	34,7	0,8	29,1	2,9	14,6
Derrames	18,0	0,8	15,1	1,5	7,5
Lodos	26,1	0,9	23,8	2,4	11,9
Aguas aceitosas	26,1	0,9	23,8	2,4	11,9
Aceite 1	4,7	0,9	4,3	0,4	2,2
Aceite 2	4,7	0,9	4,3	0,4	2,2
Aceite 3	4,7	0,9	4,3	0,4	2,2
Aceite 4	4,7	0,9	4,3	0,4	2,2
Agua dulce 1	154,8	1,0	154,8	15,5	77,4
Agua dulce 2	154,8	1,0	154,8	15,5	77,4
Agua dulce 3	154,8	1,0	154,8	15,5	77,4
Agua dulce 4	154,8	1,0	154,8	15,5	77,4
Aguas grises	286,3	1,0	286,3	28,6	143,2

Aguas negras	69,6	1,0	69,6	7,0	34,8
Lastre 1	101,7	1,0	104,2	10,4	52,1
Lastre 2	101,7	1,0	104,2	10,4	52,1
Lastre 3	95,5	1,0	97,9	9,8	48,9
Lastre 4	95,5	1,0	97,9	9,8	48,9
Lastre 5	73,1	1,0	75,0	7,5	37,5
Lastre 6	73,1	1,0	75,0	7,5	37,5
Lastre 7	67,6	1,0	69,3	6,9	34,7
Lastre 8	67,6	1,0	69,3	6,9	34,7
Lastre 9	61,8	1,0	63,3	6,3	31,7
Lastre 10	358,8	1,0	367,8	36,8	183,9
Lastre 11	358,8	1,0	367,8	36,8	183,9
Lastre 12	205,3	1,0	210,5	21,0	105,2

En la siguiente table se muestra el peso total por consumible obtenido mediante la suma de todos los tanques destinados a tal fin:

Tabla 4: Peso del fluido de los tanques

		Volumen real (m ³)	Densidad	Peso 100% (t)	Peso 10% (t)	Peso 50% (t)
Combustible	Almacén	990,5	0,84	832,0	83,2	416,0
	Uso diario	69,3	0,84	58,3	5,8	29,1
	Derrames	18,0	0,84	15,1	1,5	7,5
	Aceite	18,9	0,92	17,4	1,7	8,7
Tanques Misceláneos	Aguas aceitosas	26,1	0,91	23,8	2,4	11,9
	Lodos	26,1	0,91	23,8	2,4	11,9
	Agua dulce	619,0	1,00	619,0	61,9	309,5
	Aguas grises	286,3	1,00	286,3	28,6	143,2
	Aguas negras	69,6	1,00	69,6	7,0	34,8
	Lastre	1660,5	1,03	1702,0	170,2	851,0

- Piscinas

Además, será necesario considerar el peso de las piscinas de las que dispone el buque ya que suponen una partida importante en el peso muerto:

Las piscinas se encuentran ubicadas en la disposición general que se puede encontrar en el Cuaderno 7, de donde se obtiene el volumen de las piscinas y su centro de gravedad.

Tabla 5: Volumen, centro de gravedad y peso de las piscinas

	XG (m)	KG (m)	YG (m)	Llenado (%)	Forma	Volumen (m ³)	Densidad (t/m ³)	Peso (t)
Piscina Cub. 5	0,45	14,6	0	0,98	Cuadrada	36,34	1,025	37,25
Piscina Cub. 7	16,45	21,3	0	0,98	Cuadrada	27,44	1,025	28,13
Jacuzzi Cub. 9	115,85	27,1	0	0,98	Redonda	4,73	1,03	4,85
Spa Cub 10.	84	30,1	0	0,98	Redonda	14,48	1,03	14,84

5 CORRECCIÓN POR SUPERFICIES LIBRES

Las superficies libres de los líquidos de los tanques del buque pueden afectar negativamente a la estabilidad del buque al producirse el desplazamiento de su centro de gravedad. Es por ello por lo que la altura metacéntrica inicial, así como a la curva de brazos adrizantes, deben corregirse. Esto deberá considerarse para todas las condiciones de carga.

Por tanto, es necesario conocer que tanques deben sufrir corrección por superficies libres. Será necesario realizar dicha corrección para aquellos tanques con niveles fijos de llenado o tanques con niveles variables de llenado, salvo aquellos tanques que cumplan la siguiente condición:

$$\frac{M_{fs}}{\Delta_{min}} < 0.01 \text{ m}$$

Donde,

M_{fs} es el momento de la superficie libre que se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$M_{fs} = v b \rho k \sqrt{\delta}$$

v es la capacidad máxima del tanque en m^3

b es la anchura máxima del tanque

ρ densidad del líquido en el tanque en t/m^3

k factor adimensional correspondiente a una inclinación de 30° cuyo valor se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

$$\text{Si } \cotg 30^\circ \geq \frac{b}{h}$$

$$k = \frac{\sin 30^\circ}{12} * \left(1 + \frac{\tan^2 30^\circ}{2} \right) * \frac{b}{h}$$

$$\text{Si } \cotg 30^\circ \leq \frac{b}{h}$$

$$k = \frac{\cos 30^\circ}{8} * \left(1 + \frac{\tan 30^\circ}{b/h} \right) - \frac{\cos 30^\circ}{12 * (b/h)^2} * \left(1 + \frac{\cot^2 30^\circ}{2} \right)$$

δ es el coeficiente de bloque del tanque: $\delta = v / (b * h * l)$

Y Δ_{min} es el desplazamiento mínimo del buque lo que equivale al peso en rosca calculado en el Cuaderno 2.

No se considerarán los residuos líquidos en los tanques vacíos a la hora de realizar la corrección.

Como se puede comprobar es necesario considerar aquellos tanques que son simétricos respecto a crujía y se consumen o llenan de forma conjunta ya que el efecto de las superficies libres sobre la estabilidad aumenta, como si se tratara de un único tanque de grandes dimensiones. Esto se muestra en la tabla de la siguiente manera:

- El momento de la superficie libre se multiplica por 1 en aquellos tanques que no son simétricos a ningún otro
- O se multiplica por 2 en aquellos tanques que tienen un tanque simétrica

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6: Comprobación de si los tanques corrigen o no por superficies libres

TANQUE	Peso	V (m^3)	Anchura	Longitud	Altura	Densidad	C. bloque	b/h	k	Msl	0,01* P rosca	SIMETR.	Corrige
Almacén 1	208,00	247,62	4,92	11,2	4,7	0,84	0,96	1,05	0,05	50,92	120,90	2 NO	
Almacén 2	208,00	247,62	4,68	11,2	4,7	0,84	1,01	1,00	0,05	47,24	120,90	2 NO	
Almacén 3	208,00	247,62	4,92	11,2	4,7	0,84	0,96	1,05	0,05	50,92	120,90	2 NO	
Almacén 4	208,00	247,62	4,98	11,2	4,7	0,84	0,94	1,06	0,05	51,85	120,90	2 NO	
Uso diario 1	37,34	44,45	4,68	2,8	2,7	0,84	1,26	1,73	0,08	16,50	120,90	2 NO	
Uso diario 2	37,34	44,45	4,68	2,8	2,7	0,84	1,26	1,73	0,08	16,50	120,90	2 NO	
Derrames	12,89	15,35	4,68	2,8	1,4	0,84	0,84	3,34	0,11	6,12	120,90	2 NO	
Lodos	20,38	22,32	7,26	2,8	1,4	0,913	0,78	5,19	0,11	14,88	120,90	1 NO	
Aguas aceitosi	20,38	22,32	7,26	2,8	1,4	0,913	0,78	5,19	0,11	14,88	120,90	2 NO	
Aceite 1	3,53	3,84	2,46	2,8	0,7	0,92	0,80	3,51	0,11	0,86	120,90	2 NO	
Aceite 2	3,53	3,84	2,46	2,8	0,7	0,92	0,80	3,51	0,11	0,86	120,90	2 NO	
Aceite 3	3,53	3,84	2,46	2,8	0,7	0,92	0,80	3,51	0,11	0,86	120,90	2 NO	
Aceite 4	3,53	3,84	2,46	2,8	0,7	0,92	0,80	3,51	0,11	0,86	120,90	2 NO	
Agua dulce 1	154,76	154,76	3	11,2	4,7	1	0,98	0,64	0,03	14,26	120,90	2 NO	
Agua dulce 2	154,76	154,76	3	11,2	4,7	1	0,98	0,64	0,03	14,26	120,90	2 NO	
Agua dulce 3	154,76	154,76	3	11,2	4,7	1	0,98	0,64	0,03	14,26	120,90	2 NO	
Agua dulce 4	154,76	154,76	3	11,2	4,7	1	0,10	0,06	0,00	0,45	120,90	2 NO	
Aguas grises	286,31	286,31	7,4	8,4	4,7	1	0,98	1,57	0,08	160,53	120,90	1 SI	
Aguas negras	69,64	69,64	5,1	2,8	4,7	1	1,04	1,09	0,05	19,08	120,90	1 NO	
Lastre 1	104,20	101,66	9,6	8,4	1,4	1,025	0,90	6,86	0,11	107,77	120,90	2 SI	
Lastre 2	104,20	101,66	9,6	8,4	1,4	1,025	0,90	6,86	0,11	107,77	120,90	2 SI	
Lastre 3	97,89	95,51	9,6	8,4	1,4	1,025	0,85	6,86	0,11	98,13	120,90	2 SI	
Lastre 4	97,89	95,51	9,6	8,4	1,4	1,025	0,85	6,86	0,11	98,13	120,90	2 SI	
Lastre 5	73,94	72,14	4,14	8,4	1,4	1,025	1,48	2,96	0,11	40,53	120,90	2 NO	
Lastre 6	73,94	72,14	7,14	8,4	1,4	1,025	0,86	5,10	0,11	55,58	120,90	2 NO	
Lastre 7	68,66	66,99	7,14	8,4	1,4	1,025	0,80	5,10	0,11	49,73	120,90	2 NO	
Lastre 8	68,66	66,99	7,14	8,4	1,4	1,025	0,80	5,10	0,11	49,73	120,90	2 NO	
Lastre 9	70,37	68,65	9,36	5,6	1,4	1,025	0,94	6,69	0,11	72,35	120,90	1 NO	
Lastre 10	367,76	358,79	11,4	5,6	1,4	1,025	4,01	8,14	0,11	950,93	120,90	1 SI	
Lastre 11	367,76	358,79	9,6	8,4	2,35	1,025	1,89	4,09	0,11	547,68	120,90	2 SI	
Lastre 12	210,46	205,33	3	14	6,1	1,025	0,80	0,49	0,02	13,51	120,898294	2 NO	

Como se puede observar en la tabla, con la disposición de tanques actual, solo corrigen por superficies libres tanques de lastre y el tanque de aguas grises. Por tanto, esta disposición se dará como válida dado que el buque está diseñado para que no necesite navegar con lastre y el tanque de aguas grises se encontrará vacío por largos periodos ya que cuando el buque se encuentra a una distancia de la costa puede verter las aguas residuales directamente al mar o tras haberlas tratado previamente.

Después de conocer que tanques tienen que sufrir corrección por superficies libres y cuales no se procederá a calcular dicha corrección mediante la fórmula:

$$C.S.L. = \frac{\sum M_{fs}}{\Delta}$$

Este procedimiento se llevará a cabo para cada condición con la ayuda del Software MaxSurf Estability que también nos proporcionará los valores necesarios para saber si el buque cumple los criterios expuestos.

Para que el programa lleve a cabo esta función es necesario indicarle que, en los tanques que corrigen, calcule la corrección necesaria siguiendo la resolución A.749(18) de la IMO y, en el resto que no requieren corrección por cumplir $M_{fs}/\Delta_{min} < 0.01 m$, debemos indicarle que la corrección libre se realiza siguiendo las especificaciones del usuario como en el ejemplo:

FSM Type
User Specified
User Specified
IMO A.749(18)

Figura 3: Indicador MaxSurf para que realice o no corrección por superficies libres

6 CONDICIONES DE CARGA

Como ya se ha visto en el apartado 2 para buques crucero la resolución A.749(18) de la IMO impone el estudio de dos condiciones de carga. La primera correspondiente a la condición de salida a plena carga y la segunda al buque en su llegada a puerto con el 10% de consumibles y provisiones.

Sin embargo, con el fin de garantizar la estabilidad del buque en estado intacto se opta por llevar a cabo el estudio de una condición de carga intermedia correspondiente al buque navegando con la totalidad de sus pasajeros y su equipaje y con el 50% de provisiones y consumibles.

Las condiciones de carga a estudiar son, por tanto, las que se resumen a continuación:

- Buque en la condición de salida a plena carga con la totalidad de provisiones y combustible y de pasajeros con su equipaje
- Buque en la condición de llegada a plena carga, con la totalidad de pasajeros y su equipaje, pero con solo el 10% de provisiones y consumibles
- Buque navegando con la totalidad de pasajeros y su equipaje y el 50% de consumibles

6.1 Salida a plena carga

Los pesos que se consideraron en esta condición de carga se explican a continuación:

- Pesos fijos: Se considerarán todos los pesos fijos como se definieron en el apartado 3.2.1. (tripulación y pertrechos)
- Pasajeros: El buque irá cargado con todos los pasajeros a bordo y sus equipajes
- Viveres: El peso de los víveres para esta condición de carga es el 100% del peso calculado
- Piscinas: Es necesario tener en cuenta el peso de las piscinas que irán llenas al 100%
- Tanques: Los tanques de consumibles irán llenos al 98% (agua dulce, aceite y combustible). Por otra parte, los tanques destinados a residuos irán vacíos (derrames, aguas residuales, lodos y aguas aceitosas). Además, en esta condición de carga los tanques de lastre irán vacíos ya que a pesar de que se ha proyectado el buque con tanques de lastre, su utilidad se reduce a situaciones críticas en las cuales sea preciso variar la escora o el trimado.

Tabla 7: Configuración de pesos Salida a plena carga

Item Name	Q	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne. m
Rosca	1,00	12026,34	12026,34			62,15	0,00	10,29	0,00
Tripulación	100%	11,25	11,25			82,60	0,00	7,10	0,00
Pertrechos	100%	30,00	30,00			121,80	0,00	6,10	0,00
Total Pesos Fijos			12067,59			62,32	0,00	10,28	0,00
Pasaje	100%	72,00	72,00			75,60	0,00	15,80	0,00
Viveres	100%	37,00	37,00			25,20	0,00	8,80	0,00
Pisc. Cub. 5	100%	37,24	37,24			0,45	0,00	14,60	0,00
Pisc. Cub. 7	100%	28,13	28,13			16,45	0,00	21,30	0,00
Pisc. Cub. 9	100%	4,85	4,85			115,90	0,00	27,10	0,00
Spa Cub. 10	100%	14,84	14,84			84,10	0,00	30,10	0,00
Total Pesos Variables						44,65	0,00	16,41	0,00

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Almacén 1	98%	213,20	208,94	253,81	248,73	61,60	7,14	3,70	0,00
Almacén 2	98%	202,80	198,74	241,43	236,60	61,60	2,34	3,70	0,00
Almacén 3	98%	202,80	198,74	241,43	236,60	61,60	-2,34	3,70	0,00
Almacén 4	98%	213,20	208,94	253,81	248,73	61,60	-7,14	3,70	0,00
Uso diario 1	98%	29,13	28,54	34,67	33,98	57,40	2,34	7,42	0,00
Uso diario 2	98%	29,13	28,54	34,67	33,98	57,40	-2,34	7,42	0,00
Total	98%	890,25	872,44	1059,82	1038,62	61,33	0,00	3,95	0,00
Derrames	0%	15,08	0,00	17,95	0,00	54,55	0,00	0,00	0,00
Lodos	0%	23,84	0,00	26,11	0,00	53,26	2,34	0,01	0,00
Aguas aceitosas	0%	23,84	0,00	26,11	0,00	53,26	-2,34	0,01	0,00
Total	0%	62,75	0,00	59,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aceite 1	98%	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	4,50	3,70	0,00
Aceite 2	98%	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	1,50	3,70	0,00
Aceite 3	98%	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	-1,50	3,70	0,00
Aceite 4	98%	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	-4,50	3,70	0,00
Total Aceite	98%	17,39	13,85	15,37	15,06	42,00	0,00	1,04	0,00
A. Dulce 1	98%	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	4,50	3,70	0,00
A. Dulce 2	98%	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	1,50	3,70	0,00
A. Dulce 3	98%	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	-1,50	3,70	0,00
A. Dulce 4	98%	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	-4,50	3,70	0,00
Total	98%	619,05	606,67	619,05	606,67	77,00	0,00	3,70	0,00
Aguas grises	0%	286,31	0,00	286,31	0,00	115,90	0,00	1,40	0,00
Aguas negras	0%	69,64	0,00	69,64	0,00	121,77	0,00	1,40	0,00
Total	0%	355,95	0,00	355,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lastre 1	0%	104,20	0,00	101,66	0,00	62,64	0,04	0,00	0,00
Lastre 2	0%	104,20	0,00	101,66	0,00	62,64	-0,04	0,00	0,00
Lastre 3	0%	98,92	0,00	96,51	0,00	71,12	0,03	0,00	0,00
Lastre 4	0%	98,92	0,00	96,51	0,00	71,12	-0,03	0,00	0,00
Lastre 5	0%	74,96	0,00	73,13	0,00	85,00	0,01	0,00	0,00
Lastre 6	0%	74,96	0,00	73,13	0,00	85,00	-0,01	0,00	0,00
Lastre 7	0%	69,30	0,00	67,61	0,00	93,07	0,01	0,00	0,00
Lastre 8	0%	69,30	0,00	67,61	0,00	93,07	-0,01	0,00	0,00
Lastre 9	0%	63,34	0,00	61,80	0,00	103,16	0,00	0,00	0,00
Lastre 10	0%	367,76	0,00	358,79	0,00	16,31	-2,49	1,40	0,00
Lastre 11	0%	367,76	0,00	358,79	0,00	16,31	2,49	1,40	0,00
Lastre 12	0%	210,46	0,00	205,33	0,00	135,83	0,00	0,15	0,00
Total Lastre	0%	1704,07	0,00	1662,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Loadcase			13757,79	3786,4	1663,81	62,63	0,00	9,66	0,00

Para esta condición, se muestran a continuación las hidrostáticas:

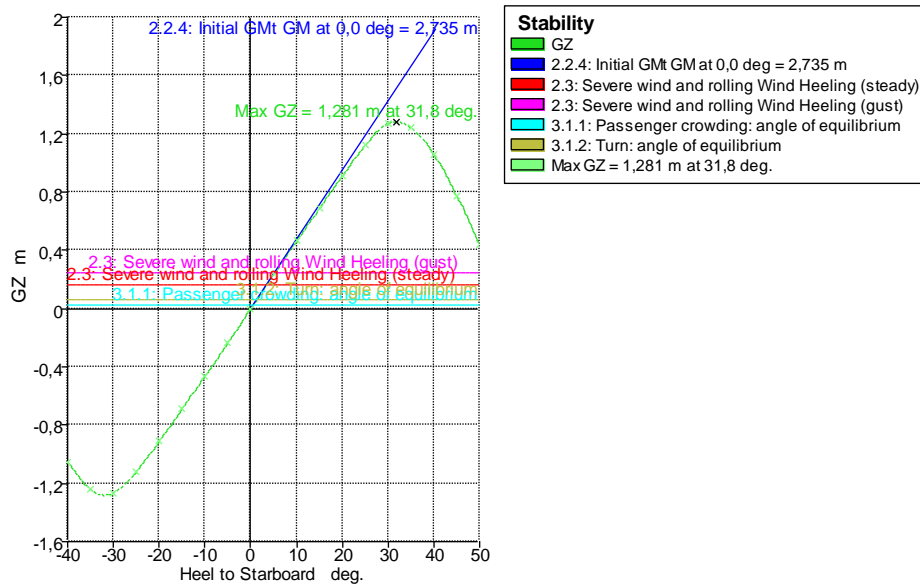
Tabla 8: Tabla de Hidrostáticas para salida a plena carga

Hidrostáticas	
Draft Amidships m	5,67
Displacement t	13758,00
Heel deg	0,00
Draft at FP m	5,35
Draft at AP m	6,00
Draft at LCF m	5,74
Trim (+ve by stern) m	0,66
WL Length m	155,22
Beam max extents on WL m	24,00
Wetted Area m ²	3937,30
Waterpl. Area m ²	2964,31
Prismatic coeff. (Cp)	0,65
Block coeff. (Cb)	0,61
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,95
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,80
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	62,60
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,02
KB m	3,21
KG fluid m	9,66
BMt m	9,18
BML m	313,80
GMt corrected m	2,74
GML m	307,35
KMt m	12,40
KML m	317,01
Immersion (TPc) tonne/cm	30,38
MTc tonne.m	291,62
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	
tonne.m	656,80
Max deck inclination deg	0,26
Trim angle (+ve by stern) deg	0,26

Los resultados del estudio de estabilidad obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 9: Resultados estabilidad salida a plena carga

Heel to Starboard	GZ	Area under GZ curve from zero heel	Displacement	Draft at FP	Draft at AP	WL Length	Beam max extents on WL	Wetted Area	Waterpl. Area	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	LCB	LCF	Max deck inclination	Trim angle (+ve by stern)
deg	m	m.rad	t	m	m	m	m	m^2	m^2			from zero pt. (+ve fwd) m	from zero pt. (+ve fwd) m	deg	deg
-40,00	-1,06	0,57	13758,00	5,22	4,54	170,14	18,66	4171,31	2336,45	0,65	0,43	62,65	66,21	40,00	-0,27
-35,00	-1,24	0,47	13758,00	5,29	4,90	159,74	20,51	4109,57	2533,51	0,68	0,43	62,65	64,71	35,00	-0,15
-30,00	-1,27	0,35	13758,00	5,35	5,23	159,51	23,27	4063,33	2782,36	0,67	0,39	62,64	63,11	30,00	-0,05
-25,00	-1,12	0,25	13758,00	5,38	5,53	155,47	24,74	3855,55	2899,71	0,68	0,40	62,62	61,90	25,00	0,06
-20,00	-0,91	0,16	13758,00	5,38	5,73	155,43	24,83	3875,29	2925,36	0,67	0,42	62,62	61,27	20,00	0,14
-15,00	-0,69	0,09	13758,00	5,37	5,86	155,45	24,55	3888,53	2930,54	0,66	0,46	62,61	60,70	15,00	0,19
-10,00	-0,46	0,04	13758,00	5,35	5,95	155,44	24,29	3906,81	2939,49	0,66	0,50	62,60	60,03	10,00	0,24
-5,00	-0,24	0,01	13758,00	5,35	5,99	155,37	24,06	3928,19	2954,43	0,65	0,56	62,60	59,35	5,01	0,25
0,00	0,00	0,00	13758,00	5,35	6,00	155,21	24,00	3937,32	2964,25	0,65	0,61	62,60	59,02	0,26	0,26
5,00	0,24	0,01	13758,00	5,35	5,99	155,37	24,06	3928,19	2954,43	0,65	0,56	62,60	59,35	5,01	0,25
10,00	0,46	0,04	13758,00	5,35	5,95	155,44	24,29	3906,81	2939,48	0,66	0,50	62,61	60,03	10,00	0,24
15,00	0,69	0,09	13758,00	5,37	5,86	155,45	24,55	3888,54	2930,52	0,66	0,46	62,61	60,70	15,00	0,19
20,00	0,91	0,16	13758,00	5,38	5,73	155,43	24,83	3875,30	2925,35	0,67	0,42	62,62	61,27	20,00	0,14
25,00	1,12	0,25	13758,00	5,38	5,53	155,47	24,74	3855,58	2899,70	0,68	0,40	62,62	61,90	25,00	0,06
30,00	1,27	0,35	13758,00	5,35	5,23	159,51	23,27	4060,13	2782,36	0,67	0,39	62,64	63,11	30,00	-0,05
35,00	1,24	0,47	13758,00	5,29	4,90	159,74	20,51	4108,68	2533,51	0,68	0,43	62,65	64,71	35,00	-0,15
40,00	1,06	0,57	13758,00	5,22	4,54	170,14	18,66	4171,24	2336,45	0,65	0,43	62,66	66,21	40,00	-0,27
45,00	0,78	0,65	13758,00	5,12	4,13	170,14	19,66	4231,21	2196,14	0,65	0,40	62,67	67,88	45,00	-0,39
50,00	0,44	0,70	13758,00	4,96	3,66	170,14	18,45	4285,69	2087,81	0,66	0,41	62,67	69,41	50,00	-0,51

**Gráfica 1: Curva de brazos adrizantes salida a plena carga**

La siguiente tabla nos muestra de forma resumida como el buque cumple todos los criterios de estabilidad explicados en el apartado 2.

Tabla 10: Comprobación salida a plena carga

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.3: IMO roll back angle	21,7 deg			
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,055 m.rad	0,3549	Pass	545,26
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,09 m.rad	0,567	Pass	529,95
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,03 m.rad	0,2121	Pass	606,86
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,2 m	1,281	Pass	540,5
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25 deg	31,8	Pass	27,27
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,15 m	2,735	Pass	1723,33
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.3: Severe wind and rolling			Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (\leq)	16 deg		3,5	Pass	78,28
	Area1 / Area2 shall not be less than (\geq)	100 %		221,34	Pass	121,34
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10 deg		0,5	Pass	95,04
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10 deg		1,3	Pass	86,96

6.2 Llegada a puerto

Esta condición es similar al caso anterior pero los consumibles habrán visto reducidos su volumen a un 10%, así como los víveres, mientras que los tanques destinados a sustancias residuales generadas durante la navegación irán llenos.

- **Pesos fijos:** Se considerarán todos los pesos fijos (tripulación y pertrechos)
- **Pasajeros:** El buque irá cargado con todos los pasajeros a bordo y sus equipajes
- **Víveres:** El peso de los víveres para esta condición de carga es el 10% del peso calculado, es decir 3.7 t.
- **Piscinas:** Las piscinas al igual que en el resto de condiciones de carga irán llenas al 100% para ofrecer este servicio al pasaje.
- **Tanques:** Los consumibles (agua dulce, aceite y combustible). habrán visto reducido su volumen al 10% del total. La secuencia de vaciado de los tanques de combustible y agua dulce es aquella que reduce los efectos por superficies libres. De formar que nunca se vacían todos los tanques simultáneamente. primero se vacían por completo una pareja de tanques simétrica respecto a crujía y posteriormente la siguiente pareja. Por otra parte, los tanques destinados a residuos irán llenos tras haberse llenado durante la navegación (derrames, aguas residuales, lodos y aguas aceitosas). En esta condición de carga, los tanques también irán vacíos pues como ya se ha indicado previamente el buque está proyectado de forma que no necesite lastre para navegar en condiciones normales de operación.

Es necesario tener en cuenta que, tanto el vaciado como el llenado de los tanques, se realizarán de forma simétrica. Es decir, cuando dos tanques son simétricos respecto a crujía, se llenarán o vaciarán conjuntamente.

La configuración de pesos resulta:

Tabla 11: Configuración pesos llegada a puerto

Item Name	Q	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM t.m
12026,									
Rosca	1	12026,34	34			62,15	0,00	10,29	0,00
Tripulación	100%	11,25	11,25			82,60	0,00	7,10	0,00
121,8									
Pertrechos	100%	30,00	30,00			0	0,00	6,10	0,00
12067,									
Total Pesos Fijos			59			62,32	0,00	10,28	0,00
Pasaje	100%	72,00	72,00			75,60	0,00	15,80	0,00
Víveres	100%	3,70	3,70			25,20	0,00	8,80	0,00
Piscina Cub. 5	100%	37,24	37,24			0,45	0,00	14,60	0,00
Piscina Cub. 7	100%	28,13	28,13			16,45	0,00	21,30	0,00
115,9									
Piscina Cub. 9	100%	4,85	4,85			0	0,00	27,10	0,00
Spa Cub. 10	100%	14,84	14,84			84,10	0,00	30,10	0,00
Total Pesos Variables			160,76			48,68	0,00	17,98	0,00
Almacén 1	0%	213,20	0,00	253,81	0,00	61,60	7,14	1,40	0,00
Almacén 2	8%	202,80	15,96	241,43	19,00	61,60	2,34	1,59	0,00

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Almacén 3	8%	202,80	15,96	241,43	19,00	61,60	-2,34	1,59	0,00
Almacén 4	0%	213,20	0,00	253,81	0,00	61,60	-7,14	1,40	0,00
Uso diario 1	98%	29,13	28,54	34,67	33,98	57,40	2,34	7,42	0,00
Uso diario 2	98%	29,13	28,54	34,67	33,98	57,40	-2,34	7,42	0,00
Total	10%	890,25	89,01	1059,82	105,96	58,91	0,00	5,33	0,00
Derrames	98%	15,08	14,78	17,95	17,59	54,60	0,00	0,69	0,00
Lodos	98%	23,84	23,36	26,11	25,59	54,60	5,84	0,73	0,00
Aguas aceitosas	98%	23,84	23,36	26,11	25,59	54,60	-5,84	0,73	0,00
Total	98%	62,75	61,50	70,17	68,76	54,60	0,00	0,72	0,00
Aceite 1	10%	4,35	0,44	4,73	0,47	37,80	5,91	0,74	0,00
Aceite 2	10%	4,35	0,44	4,73	0,47	37,80	-5,91	0,74	0,00
Aceite 3	10%	4,35	0,44	4,73	0,47	46,20	5,91	0,74	0,00
Aceite 4	10%	4,35	0,44	4,73	0,47	46,20	-5,91	0,74	0,00
Total Aceite	10%	17,39	1,74	18,90	1,89	42,00	0,00	0,74	0,00
Agua dulce 1	0%	154,76	0,00	154,76	0,00	77,00	4,50	1,40	0,00
Agua dulce 2	20%	154,76	30,95	154,76	30,95	77,00	1,50	1,87	0,00
Agua dulce 3	20%	154,76	30,95	154,76	30,95	77,00	-1,50	1,87	0,00
Agua dulce 4	0%	154,76	0,00	154,76	0,00	77,00	-4,50	1,40	0,00
Total Agua Dulce	10%	619,05	61,91	619,05	61,91	77,00	0,00	1,87	0,00
Aguas grises	98%	286,31	280,58	286,31	280,58	115,90	0,00	3,70	0,00
Aguas negras	98%	69,64	68,25	69,64	68,25	121,77	0,00	3,70	0,00
Total	98%	355,95	348,83	355,95	348,83	117,05	0,00	3,70	0,00
Lastre 1	0%	104,20	0,00	101,66	0,00	62,64	0,04	0,00	0,00
Lastre 2	0%	104,20	0,00	101,66	0,00	62,64	-0,04	0,00	0,00
Lastre 3	0%	98,92	0,00	96,51	0,00	71,12	0,03	0,00	0,00
Lastre 4	0%	98,92	0,00	96,51	0,00	71,12	-0,03	0,00	0,00
Lastre 5	0%	74,96	0,00	73,13	0,00	85,00	0,01	0,00	0,00
Lastre 6	0%	74,96	0,00	73,13	0,00	85,00	-0,01	0,00	0,00
Lastre 7	0%	69,30	0,00	67,61	0,00	93,07	0,01	0,00	0,00
Lastre 8	0%	69,30	0,00	67,61	0,00	93,07	-0,01	0,00	0,00
Lastre 9	0%	63,34	0,00	61,80	0,00	103,16	0,00	0,00	0,00
Lastre 10	0%	367,76	0,00	358,79	0,00	16,31	-2,49	1,40	0,00
Lastre 11	0%	367,76	0,00	358,79	0,00	16,31	2,49	1,40	0,00
Lastre 12	0%	210,46	0,00	205,33	0,00	135,83	0,00	0,15	0,00
Total Lastre	0%	1704,07	0,00	1662,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Loadcase		12791,32	3786,40	587,35	63,65	0,00	10,07	0,00	

Para esta condición, se muestran, a continuación, las hidrostáticas:

Tabla 12: Tabla de Hidrostáticas llegada a puerto

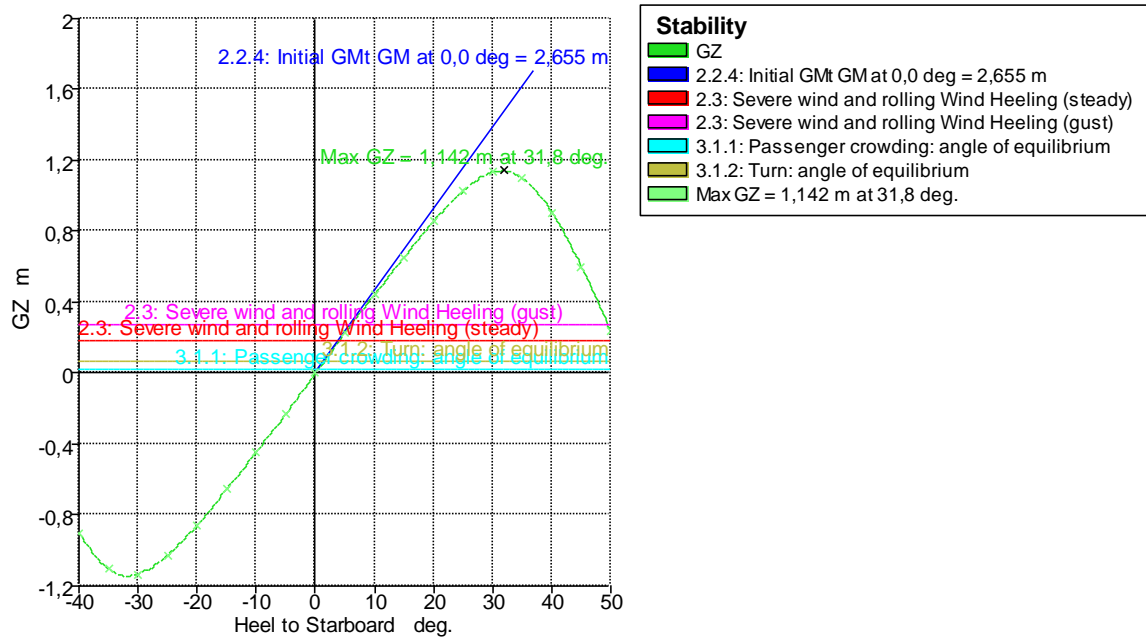
Hidrostáticas	
Draft Amidships m	5,39
Displacement t	12791,00
Heel deg	0,00
Draft at FP m	5,23
Draft at AP m	5,54
Draft at LCF m	5,41
Trim (+ve by stern) m	0,32
WL Length m	154,54
Beam max extents on WL m	23,98
Wetted Area m ²	3825,29
Waterpl. Area m ²	2933,67
Prismatic coeff. (Cp)	0,65
Block coeff. (Cb)	0,61
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,95
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,79
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,63
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,65
KB m	3,03
KG fluid m	10,07
BMt m	9,70
BML m	329,95
GMt corrected m	2,66
GML m	322,91
KMt m	12,73
KML m	332,98
Immersion (TPc) tonne/cm	30,07
MTc tonne.m	284,86
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	
tonne.m	592,73
Max deck inclination deg	0,13
Trim angle (+ve by stern) deg	0,13

Los resultados del estudio de estabilidad obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 13: Resultados estabilidad llegada a puerto

Heel to Starboard	GZ	Area under GZ curve from zero heel	Displacement	Draft at FP	Draft at AP	WL Length	Beam max extents on WL	Wetted Area	Waterpl. Area	Cp	Cb	LCB	LCF	Max deck inclination	Trim angle (+ve by stern)
deg	m	m.rad	t	m	m	m	m	m^2	m^2			m	m	deg	deg
-40,00	-0,90	0,52	12791,00	5,19	3,60	170,14	18,34	3982,86	2334,64	0,64	0,43	63,72	66,23	40,00	-0,63
-35,00	-1,10	0,43	12791,00	5,24	4,12	159,78	20,53	3925,79	2534,63	0,68	0,42	63,70	64,79	35,00	-0,44
-30,00	-1,13	0,33	12791,00	5,29	4,58	159,56	23,35	3864,58	2770,15	0,68	0,38	63,68	63,36	30,00	-0,28
-25,00	-1,03	0,24	12791,00	5,31	4,94	155,61	24,23	3731,64	2827,56	0,68	0,39	63,66	62,57	25,00	-0,15
-20,00	-0,86	0,15	12791,00	5,31	5,18	155,40	24,61	3759,89	2870,84	0,67	0,41	63,65	61,90	20,00	-0,05
-15,00	-0,65	0,09	12791,00	5,28	5,34	155,50	24,44	3774,27	2887,68	0,66	0,45	63,65	61,34	15,00	0,02
-10,00	-0,44	0,04	12791,00	5,26	5,46	155,31	24,20	3790,09	2898,64	0,66	0,50	63,64	60,74	10,00	0,08
-5,00	-0,23	0,01	12791,00	5,24	5,52	154,90	24,02	3814,07	2920,36	0,65	0,56	63,64	60,00	5,00	0,11
0,00	0,00	0,00	12791,00	5,23	5,54	154,54	23,98	3825,30	2933,64	0,65	0,61	63,63	59,65	0,12	0,12
5,00	0,23	0,01	12791,00	5,24	5,52	154,90	24,02	3814,07	2920,35	0,65	0,56	63,64	60,00	5,00	0,11
10,00	0,44	0,04	12791,00	5,26	5,46	155,31	24,20	3790,10	2898,63	0,66	0,50	63,64	60,74	10,00	0,08
15,00	0,65	0,09	12791,00	5,29	5,34	155,50	24,44	3774,28	2887,66	0,66	0,45	63,65	61,34	15,00	0,02
20,00	0,86	0,15	12791,00	5,31	5,18	155,40	24,61	3759,91	2870,83	0,67	0,41	63,65	61,90	20,00	-0,05
25,00	1,03	0,24	12791,00	5,31	4,94	155,61	24,23	3731,67	2827,55	0,68	0,39	63,67	62,57	25,00	-0,15
30,00	1,13	0,33	12791,00	5,29	4,58	159,56	23,35	3866,71	2770,14	0,68	0,38	63,68	63,36	30,00	-0,28
35,00	1,10	0,43	12791,00	5,24	4,12	159,78	20,53	3926,62	2534,63	0,68	0,42	63,70	64,79	35,00	-0,44
40,00	0,90	0,52	12791,00	5,18	3,60	170,14	18,34	3982,10	2334,64	0,64	0,43	63,71	66,23	40,00	-0,63
45,00	0,60	0,58	12791,00	5,10	3,01	170,15	19,52	4047,10	2191,68	0,65	0,39	63,73	67,82	45,00	-0,83
50,00	0,23	0,62	12791,00	4,95	2,32	170,15	18,53	4101,19	2084,46	0,65	0,40	63,74	69,39	50,00	-1,04

La siguiente tabla nos muestra de forma resumida como el buque cumple todos los criterios de estabilidad:



Gráfica 2: Curva de brazos adrizantes llegada a puerto

Tabla 14: Comprobación criterios llegada a puerto

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
267(85) Ch2 - General						
Criteria	2.3: IMO roll back angle	22,2	deg			
267(85) Ch2 - General						
Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,055	m.rad	0,3308	Pass	501,48
267(85) Ch2 - General						
Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,09	m.rad	0,5182	Pass	475,78
267(85) Ch2 - General						
Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,03	m.rad	0,1874	Pass	524,61
267(85) Ch2 - General						
Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,2	m	1,142	Pass	471
267(85) Ch2 - General						
Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25	deg	31,8	Pass	27,27
267(85) Ch2 - General						
Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,15	m	2,655	Pass	1670
267(85) Ch2 - General						
Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16	deg	3,9	Pass	75,51
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100	%	174,29	Pass	74,29
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10	deg	0,5	Pass	94,53
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10	deg	1,4	Pass	85,74

6.3 Condición intermedia

Esta condición es intermedia a las dos condiciones de carga estudiadas previamente, en él, tanto los tanques de consumibles como de sustancias residuales irán llenos al 50%:

- Pesos fijos: Se considerarán todos los pesos fijos (tripulación y pertrechos)
- Pasajeros: El buque irá cargado con todos los pasajeros a bordo y sus equipajes
- Víveres: El peso de los víveres para esta condición de carga es el 50% del peso calculado, es decir 18.5 t.
- Piscinas: Las piscinas irán llenas al 100%.
- Tanques: Los tanques de consumibles (agua dulce, aceite y combustible) contendrán el 50% del volumen total al igual que los tanques destinados a residuos (derrames, aguas residuales, lodos y aguas aceitosas). Los tanques de lastre irán vacíos nuevamente.

Tabla 15: Configuración de pesos condición intermedia

Item Name	Q	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m
Rosca	1,00	12026,34	12026,34			62,15	0,00	10,29	0,00
Tripulación	1,00	11,25	11,25			82,60	0,00	7,10	0,00
Pertrechos	1,00	30,00	30,00			121,80	0,00	6,10	0,00
Total Pesos Fijos			12067,59			62,32	0,00	10,28	0,00
Pasaje	1,00	72,00	72,00			75,60	0,00	15,80	0,00
Víveres	1,00	18,50	18,50			25,20	0,00	8,80	0,00
Piscina Cub. 5	1,00	37,24	37,24			0,45	0,00	14,60	0,00
Piscina Cub. 7	1,00	28,13	28,13			16,45	0,00	21,30	0,00
Piscina Cub. 9	1,00	4,85	4,85			115,90	0,00	27,10	0,00
Spa Cub. 10	1,00	14,84	14,84			84,10	0,00	30,10	0,00
Total Pesos Variables			175,56			46,70	0,00	17,21	0,00
Almacén 1	0,00	213,20	0,00	253,81	0,00	61,60	7,14	1,40	0,00
Almacén 2	0,96	202,80	194,02	241,43	230,97	61,60	2,34	3,65	0,00
Almacén 3	0,96	202,80	194,02	241,43	230,97	61,60	-2,34	3,65	0,00
Almacén 4	0,00	213,20	0,00	253,81	0,00	61,60	-7,14	1,40	0,00
Uso diario 1	0,98	29,13	28,54	34,67	33,98	57,40	2,34	7,42	0,00
Uso diario 2	0,98	29,13	28,54	34,67	33,98	57,40	-2,34	7,42	0,00
Total	0,50	890,25	445,12	1059,82	529,91	61,06	0,00	4,13	0,00
Derrames	0,50	15,08	7,54	17,95	8,98	54,60	0,00	0,35	0,00
Lodos	0,50	23,84	11,92	26,11	13,05	54,60	5,71	0,41	0,00
Aguas aceitosas	0,50	23,84	11,92	26,11	13,05	54,60	-5,71	0,41	0,00
Total	0,50	62,75	31,38	70,17	35,08	54,60	0,00	0,40	0,00
Aceite 1	0,50	4,35	2,17	4,73	2,36	37,80	5,91	0,88	0,00
Aceite 2	0,50	4,35	2,17	4,73	2,36	37,80	-5,91	0,88	0,00
Aceite 3	0,50	4,35	2,17	4,73	2,36	46,20	5,91	0,88	0,00
Aceite 4	0,50	4,35	2,17	4,73	2,36	46,20	-5,91	0,88	0,00

Total Aceite	0,50	17,39	8,69	18,90	9,45	42,00	0,00	0,88	0,00
Agua dulce 1	0,02	154,76	3,10	154,76	3,10	77,00	4,50	1,45	0,00
Agua dulce 2	0,98	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	1,50	3,70	0,00
Agua dulce 3	0,98	154,76	151,67	154,76	151,67	77,00	-1,50	3,70	0,00
Agua dulce 4	0,02	154,76	3,10	154,76	3,10	77,00	-4,50	1,45	0,00
Total Agua Dulce	0,50	619,05	309,52	619,05	309,52	77,00	0,00	3,66	0,00
Aguas grises	0,50	286,31	143,15	286,31	143,15	115,90	0,00	2,58	369,10
Aguas negras	0,50	69,64	34,82	69,64	34,82	121,77	0,00	2,58	0,00
Total	0,50	355,95	177,98	355,95	177,98	117,05	0,00	2,58	369,10
Lastre 1	0,00	104,20	0,00	101,66	0,00	62,64	0,04	0,00	0,00
Lastre 2	0,00	104,20	0,00	101,66	0,00	62,64	-0,04	0,00	0,00
Lastre 3	0,00	98,92	0,00	96,51	0,00	71,12	0,03	0,00	0,00
Lastre 4	0,00	98,92	0,00	96,51	0,00	71,12	-0,03	0,00	0,00
Lastre 5	0,00	74,96	0,00	73,13	0,00	85,00	0,01	0,00	0,00
Lastre 6	0,00	74,96	0,00	73,13	0,00	85,00	-0,01	0,00	0,00
Lastre 7	0,00	69,30	0,00	67,61	0,00	93,07	0,01	0,00	0,00
Lastre 8	0,00	69,30	0,00	67,61	0,00	93,07	-0,01	0,00	0,00
Lastre 9	0,00	63,34	0,00	61,80	0,00	103,16	0,00	0,00	0,00
Lastre 10	0,00	367,76	0,00	358,79	0,00	16,31	-2,49	1,40	0,00
Lastre 11	0,00	367,76	0,00	358,79	0,00	16,31	2,49	1,40	0,00
Lastre 12	0,00	210,46	0,00	205,33	0,00	135,83	0,00	0,15	0,00
Total Lastre	0,00	1704,07	0,00	1662,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Loadcase			13215,84	3786,40	1061,94	63,12	0,00	9,87	369,10

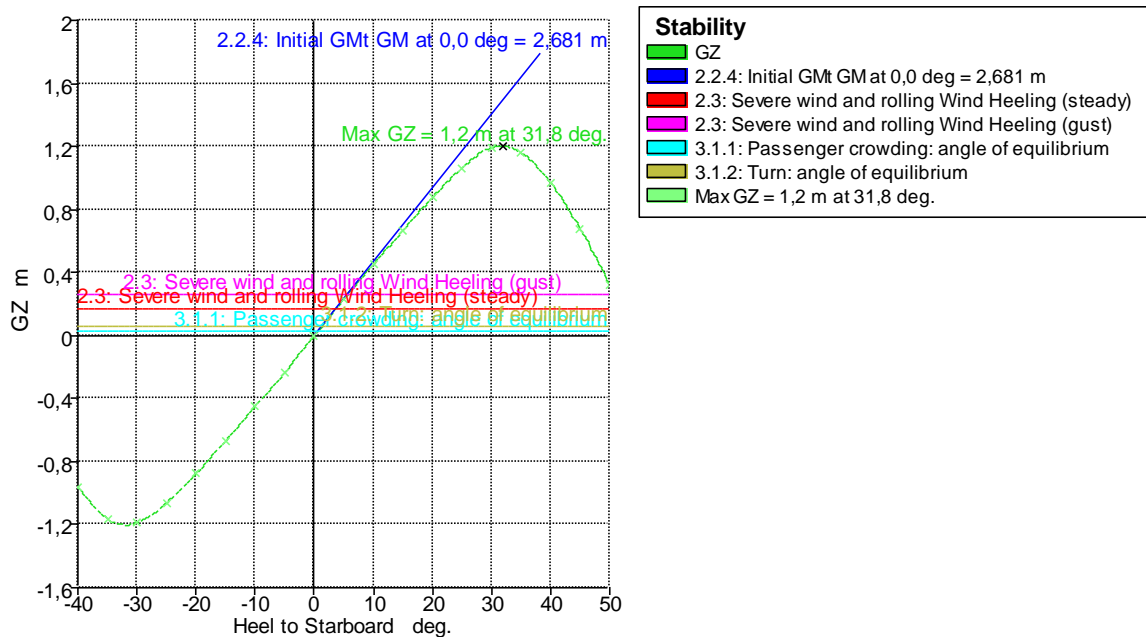
Para esta condición, se muestran, a continuación, las hidrostáticas:

Tabla 16: Tabla de Hidrostáticas llegada a puerto

Hidrostáticas	
Draft Amidships m	5,51
Displacement t	13216,00
Heel deg	0,00
Draft at FP m	5,26
Draft at AP m	5,76
Draft at LCF m	5,56
Trim (+ve by stern) m	0,50
WL Length m	154,97
Beam max extents on WL m	23,99
Wetted Area m ²	3876,15
Waterpl. Area m ²	2950,81
Prismatic coeff. (Cp)	0,65
Block coeff. (Cb)	0,61
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,95
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,79

LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,10
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,32
KB m	3,11
KG fluid m	9,90
BMt m	9,47
BML m	323,81
GMt corrected m	2,68
GML m	317,02
KMt m	12,58
KML m	326,92
Immersion (TPc) tonne/cm	30,25
MTc tonne.m	288,94
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	618,39
Max deck inclination deg	0,20
Trim angle (+ve by stern) deg	0,20

Los resultados del estudio de estabilidad obtenidos se muestran a continuación:



Gráfica 3: Curva de brazos adrizantes condición intermedia

Tabla 17: Resultados estabilidad condición intermedia

Heel to Starboard	GZ	Area under GZ curve from zero heel	Displacement	Draft at FP	Draft at AP	WL Length	Beam max extents on WL	Wetted Area	Waterpl. Area	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	LCB	LCF	Max deck inclination	Trim angle (+ve by stern)
deg	m	m.rad	t	m	m	m	m	m ²	m ²			from zero pt. (+ve fwd) m	from zero pt. (+ve fwd) m	deg	deg
-40,00	-0,97	0,54	13216,00	5,18	4,03	170,14	18,46	4062,38	2335,77	0,65	0,43	63,17	66,22	40,00	-0,45
-35,00	-1,16	0,44	13216,00	5,24	4,48	159,85	20,52	4006,59	2534,90	0,68	0,42	63,15	64,75	35,00	-0,30
-30,00	-1,19	0,34	13216,00	5,29	4,88	159,60	23,37	3963,60	2784,43	0,67	0,39	63,14	63,13	30,00	-0,16
-25,00	-1,06	0,24	13216,00	5,32	5,22	155,69	24,47	3786,54	2861,25	0,68	0,40	63,12	62,25	25,00	-0,04
-20,00	-0,88	0,16	13216,00	5,32	5,44	155,49	24,72	3810,83	2896,94	0,67	0,42	63,11	61,60	20,00	0,05
-15,00	-0,67	0,09	13216,00	5,30	5,59	155,53	24,49	3824,49	2908,42	0,66	0,45	63,11	61,04	15,00	0,11
-10,00	-0,45	0,04	13216,00	5,28	5,69	155,52	24,25	3841,73	2919,02	0,66	0,50	63,10	60,40	10,00	0,16
-5,00	-0,23	0,01	13216,00	5,27	5,74	155,31	24,04	3864,87	2937,74	0,65	0,56	63,10	59,69	5,00	0,19
0,00	0,00	0,00	13216,00	5,26	5,76	154,97	23,99	3876,16	2950,77	0,65	0,61	63,10	59,32	0,20	0,20
5,00	0,23	0,01	13216,00	5,27	5,74	155,31	24,04	3864,87	2937,74	0,65	0,56	63,10	59,69	5,00	0,19
10,00	0,45	0,04	13216,00	5,28	5,69	155,52	24,25	3841,74	2919,01	0,66	0,50	63,10	60,40	10,00	0,16
15,00	0,67	0,09	13216,00	5,30	5,59	155,53	24,49	3824,50	2908,40	0,66	0,45	63,11	61,04	15,00	0,11
20,00	0,88	0,16	13216,00	5,32	5,44	155,48	24,72	3810,85	2896,92	0,67	0,42	63,11	61,60	20,00	0,05
25,00	1,06	0,24	13216,00	5,32	5,22	155,69	24,47	3786,56	2861,23	0,68	0,40	63,12	62,25	25,00	-0,04
30,00	1,19	0,34	13216,00	5,29	4,88	159,60	23,37	3960,97	2784,43	0,67	0,39	63,14	63,13	30,00	-0,16
35,00	1,16	0,44	13216,00	5,24	4,48	159,85	20,52	4006,01	2534,90	0,68	0,42	63,15	64,75	35,00	-0,30
40,00	0,97	0,54	13216,00	5,18	4,03	170,14	18,46	4063,29	2335,78	0,65	0,43	63,16	66,22	40,00	-0,45
45,00	0,67	0,61	13216,00	5,08	3,53	170,14	19,67	4125,82	2193,60	0,65	0,39	63,18	67,84	45,00	-0,62
50,00	0,32	0,65	13216,00	4,93	2,94	170,14	18,50	4180,64	2085,88	0,65	0,41	63,19	69,38	50,00	-0,79

Como se puede comprobar para la condición de carga estudiada, también se cumplen los criterios de estabilidad:

Tabla 18: Comprobación criterios condición intermedia

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.3: IMO roll back angle	22 deg			
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,055 m.rad	0,34	Pass	518,2 2
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,09 m.rad	0,5377	Pass	497,4 6
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,03 m.rad	0,1977	Pass	558,9 5
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,2 m	1,2	Pass	500
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25 deg	31,8	Pass	27,27
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,15 m	2,681	Pass	1687, 33
267(85) Ch2 - General	Criteria	2.3: Severe wind and rolling			Pass	
		Angle of steady heel shall not be greater than (\leq)	16 deg	3,7	Pass	76,74
		Area1 / Area2 shall not be less than (\geq)	100 %	194,55	Pass	94,55
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10 deg		0,5	Pass	94,76
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10 deg		1,4	Pass	86,15

Como se puede comprobar tras llevar a cabo el estudio para las 3 condiciones de carga descritas, el buque cumple los criterios de estabilidad.

Se pueden encontrar los resultados provistos por el Software empleado en el Anexo.

6.4 Resumen condiciones de carga

En la siguiente table se muestra de forma resumida los valores de estabilidad obtenidos para los tres casos de carga planteados. Como se puede comprobar, el buque proyecto cumple todos los requisitos de estabilidad.

Tabla 19: Resumen cumplimiento de criterios de estabilidad

		Condiciones de carga			
		Salida a plena carga	Llegada a puerto	Condición intermedia	Cumple?
	Desplazamiento (t)	13758	12791	13216	
	Calado (m)	5,67	5,39	5,51	
Criterio	Requisito				
Área bajo la curva GZ a 30º (m*rad)	0,055 >	0,3549	0,3308	0,34	SI
Área bajo la curva GZ a 40º (m*rad)	0,09 >	0,567	0,5182	0,5377	SI
Área bajo la curva GZ entre 30 y 40º (m*rad)	0,03 >	0,2121	0,1874	0,1977	SI
GZ a 30º (m)	0,2 >	1,281	1,42	1,2	SI
Ángulo Gzmax (deg)	25 >	31,8	31,8		31,8 SI
GM0 (m)	0,15 >	2,735	2,655		2,681 SI
φ_0 (deg)	16 <	3,5	3,9		3,7 SI
$\text{Área}_b \geq \text{Área}_a$	100 >	221,34	174,29		194,55 SI
Ángulo de escora producido por la aglomeración de pasajeros (deg)	10 <	0,5	0,4		0,5 SI
Ángulo de escora debido a maniobra de giro (deg)	10 <	1,3	1,4		1,4 SI

ANEXO V.I: RESULTADOS ESTABILIDAD MAXSURF

Stability calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp. %: 0,01000(0,100); Trim%(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel%(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Salida a plena carga

Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

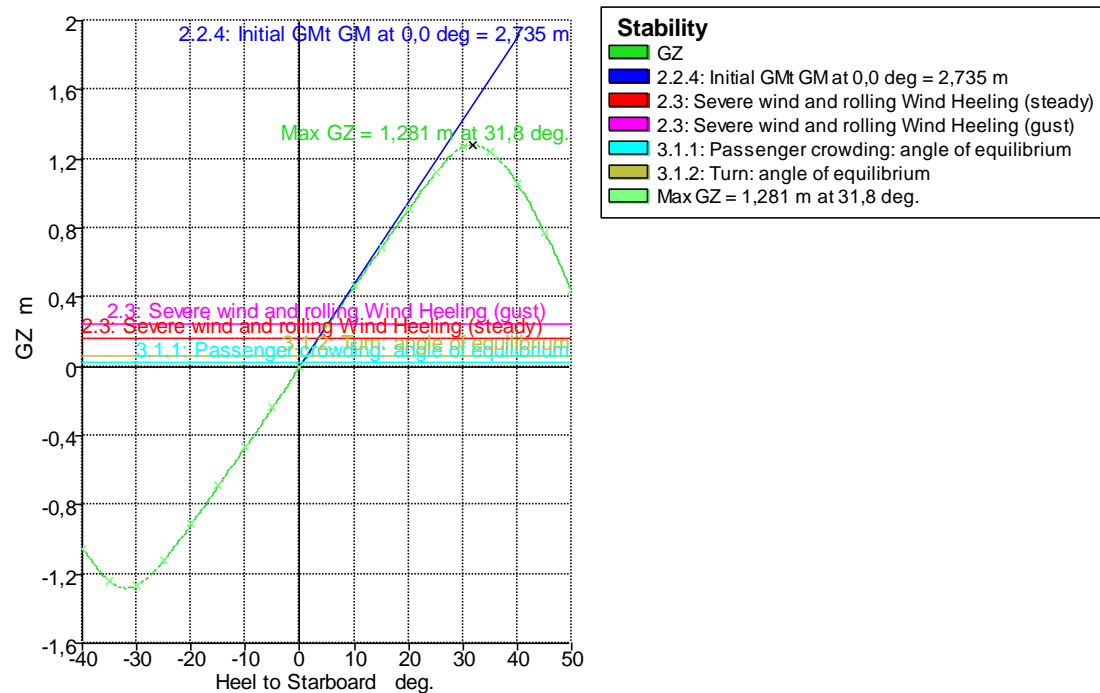
Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Rosca	1	12026,337	12026,337			62,154	0,000	10,290	0,000	User Specified
Tripulación	1	11,250	11,250			82,600	0,000	7,100	0,000	User Specified
Pertrechos	1	30,000	30,000			121,800	0,000	6,100	0,000	User Specified
Total Pesos Fijos			12067,587			62,321	0,000	10,276	0,000	
Pasaje	1	72,000	72,000			75,600	0,000	15,800	0,000	User Specified
Viveres	1	37,000	37,000			25,200	0,000	8,800	0,000	User Specified
Piscina Cub. 5	1	37,240	37,240			0,450	0,000	14,600	0,000	User Specified
Piscina Cub. 7	1	28,126	28,126			16,450	0,000	21,300	0,000	User Specified
Piscina Cub. 9	1	4,850	4,850			115,900	0,000	27,100	0,000	User Specified
Spa Cub. 10	1	14,840	14,840			84,100	0,000	30,100	0,000	User Specified
Total Pesos Variables			194,056			44,653	0,000	16,408	0,000	
Almacén 1	98%	213,200	208,936	253,809	248,733	61,600	7,140	3,703	0,000	User Specified
Almacén 2	98%	202,800	198,744	241,428	236,599	61,600	2,340	3,703	0,000	User Specified
Almacén 3	98%	202,800	198,744	241,428	236,599	61,600	-2,340	3,703	0,000	User Specified
Almacén 4	98%	213,200	208,936	253,809	248,733	61,600	-7,140	3,703	0,000	User Specified
Uso diario 1	98%	29,126	28,543	34,673	33,980	57,400	2,340	7,423	0,000	User Specified
Uso diario 2	98%	29,126	28,543	34,673	33,980	57,400	-2,340	7,423	0,000	User Specified
Total combustible	98%	890,249	872,444	1059,820	1038,624	61,325	0,000	3,946	0,000	
Derrames	0%	15,078	0,000	17,951	0,000	54,546	0,000	0,000	0,000	User Specified
Lodos	0%	23,837	0,000	26,108	0,000	53,260	2,343	0,006	0,000	User Specified

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Item Name	Quantit y	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Aguas aceitosas	0%	23,837	0,000	26,108	0,000	53,260	-2,343	0,006	0,000	User Specified
Total Tanques Misceláneos	0%	62,752	0,000	70,167	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Aceite 1	98%	4,347	4,260	4,725	4,631	37,800	5,910	1,043	0,000	User Specified
Aceite 2	98%	4,347	4,260	4,725	4,631	37,800	-5,910	1,043	0,000	User Specified
Aceite 3	98%	4,347	4,260	4,725	4,631	46,200	5,910	1,043	0,000	User Specified
Aceite 4	98%	4,347	4,260	4,725	4,631	46,200	-5,910	1,043	0,000	User Specified
Total Aceite	98%	17,389	17,041	18,901	18,523	42,000	0,000	1,043	0,000	
Agua dulce 1	98%	154,762	151,667	154,762	151,667	77,000	4,500	3,703	0,000	User Specified
Agua dulce 2	98%	154,762	151,667	154,762	151,667	77,000	1,500	3,703	0,000	User Specified
Agua dulce 3	98%	154,762	151,667	154,762	151,667	77,000	-1,500	3,703	0,000	User Specified
Agua dulce 4	98%	154,762	151,667	154,762	151,667	77,000	-4,500	3,703	0,000	User Specified
Total Agua Dulce	98%	619,047	606,666	619,047	606,666	77,000	0,000	3,703	0,000	
Aguas grises	0%	286,309	0,000	286,309	0,000	115,897	0,000	1,400	0,000	IMO A.749(18)
Aguas negras	0%	69,643	0,000	69,643	0,000	121,765	0,000	1,400	0,000	User Specified
Total Aguas Residuales	0%	355,952	0,000	355,952	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Lastre 1	0%	104,201	0,000	101,659	0,000	62,638	0,041	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 2	0%	104,201	0,000	101,659	0,000	62,638	-0,041	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 3	0%	98,919	0,000	96,506	0,000	71,116	0,025	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 4	0%	98,919	0,000	96,506	0,000	71,116	-0,025	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 5	0%	74,956	0,000	73,128	0,000	85,000	0,013	0,000	0,000	User Specified
Lastre 6	0%	74,956	0,000	73,128	0,000	85,000	-0,013	0,000	0,000	User Specified
Lastre 7	0%	69,304	0,000	67,613	0,000	93,067	0,006	0,000	0,000	User Specified
Lastre 8	0%	69,304	0,000	67,613	0,000	93,067	-0,006	0,000	0,000	User Specified
Lastre 9	0%	63,343	0,000	61,798	0,000	103,159	0,000	0,000	0,000	User Specified
Lastre 10	0%	367,756	0,000	358,787	0,000	16,308	-2,490	1,400	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 11	0%	367,756	0,000	358,787	0,000	16,308	2,490	1,400	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 12	0%	210,459	0,000	205,326	0,000	135,834	0,000	0,151	0,000	User Specified
Total Lastre	0%	1704,073	0,000	1662,510	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Total Loadcase			13757,794	3786,397	1663,813	62,631	0,000	9,660	0,000	
FS correction									0,000	
VCG fluid								9,660		



Heel to Starboard deg	GZ m	Area under GZ curve from zero heel m.rad	Displacement t	Draft at FP m	Draft at AP m	WL Length m	Beam max extents on WL m	Wetted Area m ²	Waterpl. Area m ²	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	Max deck inclination deg	Trim angle (+ve by stern) deg
-40,0	-1,057	0,5668	13758	5,219	4,540	170,138	18,660	4171,312	2336,453	0,646	0,427	62,649	66,213	40,0004	-0,2685
-35,0	-1,241	0,4659	13758	5,288	4,901	159,743	20,513	4109,567	2533,510	0,681	0,428	62,646	64,711	35,0002	-0,1528
-30,0	-1,269	0,3549	13758	5,345	5,230	159,509	23,267	4063,326	2782,356	0,673	0,393	62,635	63,105	30,0000	-0,0457
-25,0	-1,119	0,2498	13758	5,380	5,526	155,467	24,743	3855,552	2899,709	0,680	0,398	62,623	61,898	25,0001	0,0579
-20,0	-0,911	0,1611	13758	5,382	5,727	155,431	24,832	3875,290	2925,356	0,670	0,421	62,615	61,274	20,0004	0,1363
-15,0	-0,688	0,0913	13758	5,368	5,861	155,449	24,546	3888,528	2930,535	0,662	0,458	62,608	60,699	15,0012	0,1949

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Heel to Starboard deg	GZ m	Area under GZ curve from zero heel m.rad	Displacement t	Draft at FP m	Draft at AP m	WL Length m	Beam max extents on WL m	Wetted Area m^2	Waterpl. Area m^2	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	Max deck inclination deg	Trim angle (+ve by stern) deg
-10,0	-0,464	0,0409	13758	5,353	5,948	155,441	24,289	3906,807	2939,493	0,657	0,504	62,604	60,032	10,0027	0,2351
-5,0	-0,236	0,0103	13758	5,347	5,992	155,365	24,059	3928,186	2954,428	0,654	0,560	62,602	59,352	5,0064	0,2549
0,0	0,000	0,0000	13758	5,346	6,002	155,214	23,995	3937,324	2964,253	0,654	0,612	62,602	59,024	0,2591	0,2591
5,0	0,236	0,0103	13758	5,347	5,992	155,365	24,059	3928,189	2954,425	0,654	0,560	62,602	59,352	5,0064	0,2548
10,0	0,464	0,0409	13758	5,354	5,948	155,441	24,289	3906,814	2939,483	0,657	0,504	62,605	60,032	10,0027	0,2350
15,0	0,688	0,0913	13758	5,369	5,861	155,448	24,546	3888,538	2930,523	0,662	0,458	62,609	60,699	15,0012	0,1947
20,0	0,911	0,1611	13758	5,382	5,727	155,430	24,831	3875,303	2925,346	0,670	0,421	62,616	61,274	20,0004	0,1361
25,0	1,119	0,2498	13758	5,380	5,526	155,470	24,743	3855,577	2899,695	0,680	0,398	62,624	61,898	25,0001	0,0576
30,0	1,269	0,3549	13758	5,346	5,230	159,509	23,267	4060,133	2782,355	0,673	0,393	62,635	63,105	30,0000	-0,0458
35,0	1,241	0,4658	13758	5,287	4,901	159,743	20,513	4108,680	2533,511	0,681	0,428	62,645	64,711	35,0002	-0,1527
40,0	1,056	0,5670	13758	5,222	4,538	170,138	18,662	4171,241	2336,452	0,646	0,427	62,656	66,213	40,0004	-0,2705
45,0	0,775	0,6474	13758	5,122	4,130	170,138	19,660	4231,209	2196,142	0,651	0,395	62,665	67,875	45,0007	-0,3922
50,0	0,436	0,7005	13758	4,959	3,662	170,139	18,446	4285,685	2087,814	0,656	0,413	62,672	69,408	50,0008	-0,5127

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = -9,44 m)		25,9	n/a
Deck Edge (immersion pos = -9,44 m)		26,3	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	21,7	deg			
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,0550	m.rad	0,3549	Pass	+545,26
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,0900	m.rad	0,5670	Pass	+529,95
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,0300	m.rad	0,2121	Pass	+606,86
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,281	Pass	+540,50
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	31,8	Pass	+27,27
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,735	Pass	+1723,33
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	3,5	Pass	+78,28
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	221,34	Pass	+121,34
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,5	Pass	+95,04
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	1,3	Pass	+86,96

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Draft Amidships m	5,674
Displacement t	13758
Heel deg	0,0
Draft at FP m	5,345
Draft at AP m	6,003
Draft at LCF m	5,735
Trim (+ve by stern) m	0,657
WL Length m	155,217
Beam max extents on WL m	23,995
Wetted Area m ²	3937,298
Waterpl. Area m ²	2964,307
Prismatic coeff. (Cp)	0,654
Block coeff. (Cb)	0,612
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,946
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,796
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	62,598
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,024
KB m	3,213
KG fluid m	9,660
BMt m	9,182
BML m	313,798
GMt corrected m	2,735
GML m	307,351
KMt m	12,396
KML m	317,008
Immersion (TPc) tonne/cm	30,384
MTc tonne.m	291,619
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	656,795
Max deck inclination deg	0,2598
Trim angle (+ve by stern) deg	0,2598

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = -9,44 m)		5,754
Deck Edge (freeboard pos = -9,44 m)		5,83

Stability calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Llegada a puerto

Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

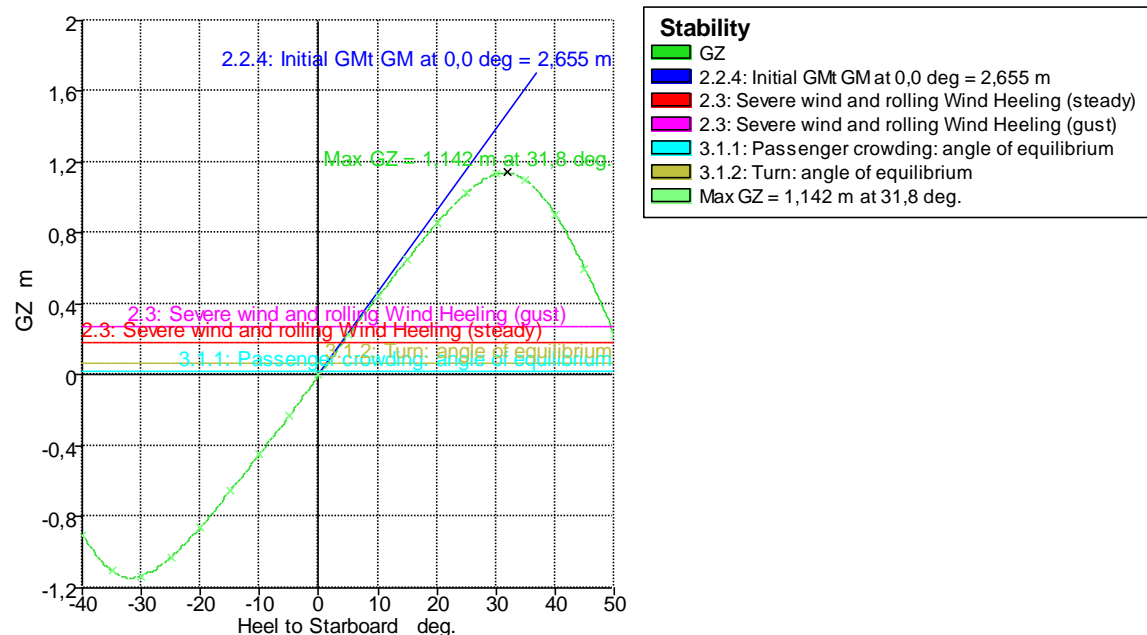
Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Rosca	1	12026,337	12026,337			62,154	0,000	10,290	0,000	User Specified
Tripulación	1	11,250	11,250			82,600	0,000	7,100	0,000	User Specified
Pertrechos	1	30,000	30,000			121,800	0,000	6,100	0,000	User Specified
Total Pesos Fijos			12067,587			62,321	0,000	10,277	0,000	
Pasaje	1	72,000	72,000			75,600	0,000	15,800	0,000	User Specified
Viveres	1	3,700	3,700			25,200	0,000	8,800	0,000	User Specified
Piscina Cub. 5	1	37,240	37,240			0,450	0,000	14,600	0,000	User Specified
Piscina Cub. 7	1	28,126	28,126			16,450	0,000	21,300	0,000	User Specified
Piscina Cub. 9	1	4,850	4,850			115,900	0,000	27,100	0,000	User Specified
Spa Cub. 10	1	14,840	14,840			84,100	0,000	30,100	0,000	User Specified
Total Pesos Variables			160,756			48,683	0,000	17,984	0,000	
Almacén 1	0%	213,200	0,000	253,809	0,000	61,600	7,140	1,400	0,000	User Specified
Almacén 2	7,87%	202,800	15,960	241,428	19,000	61,600	2,340	1,585	0,000	User Specified
Almacén 3	7,87%	202,800	15,960	241,428	19,000	61,600	-2,340	1,585	0,000	User Specified
Almacén 4	0%	213,200	0,000	253,809	0,000	61,600	-7,140	1,400	0,000	User Specified
Uso diario 1	98%	29,126	28,543	34,673	33,980	57,400	2,340	7,423	0,000	User Specified
Uso diario 2	98%	29,126	28,543	34,673	33,980	57,400	-2,340	7,423	0,000	User Specified
Total Combustible	10%	890,249	89,007	1059,820	105,960	58,906	0,000	5,329	0,000	
Derrames	98%	15,078	14,777	17,951	17,591	54,600	0,000	0,687	0,000	User Specified
Lodos	98%	23,837	23,360	26,108	25,586	54,597	5,839	0,728	0,000	User Specified
Aguas aceitosas	98%	23,837	23,360	26,108	25,586	54,597	-5,839	0,728	0,000	User Specified
Total Tanques Misceláneos	98%	62,752	61,497	70,167	68,764	54,598	0,000	0,718	0,000	
Aceite 1	10%	4,347	0,435	4,725	0,473	37,800	5,910	0,735	0,000	User Specified
Aceite 2	10%	4,347	0,435	4,725	0,473	37,800	-5,910	0,735	0,000	User Specified
Aceite 3	10%	4,347	0,435	4,725	0,473	46,200	5,910	0,735	0,000	User Specified
Aceite 4	10%	4,347	0,435	4,725	0,473	46,200	-5,910	0,735	0,000	User Specified

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Item Name	Quantit y	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Total Aceite	10%	17,389	1,739	18,901	1,890	42,000	0,000	0,735	0,000	
Agua dulce 1	0%	154,762	0,000	154,762	0,000	77,000	4,500	1,400	0,000	User Specified
Agua dulce 2	20%	154,762	30,952	154,762	30,952	77,000	1,500	1,870	0,000	User Specified
Agua dulce 3	20%	154,762	30,952	154,762	30,952	77,000	-1,500	1,870	0,000	User Specified
Agua dulce 4	0%	154,762	0,000	154,762	0,000	77,000	-4,500	1,400	0,000	User Specified
Total Agua Dulce	10%	619,047	61,905	619,047	61,905	77,000	0,000	1,870	0,000	
Aguas grises	98%	286,309	280,583	286,309	280,583	115,897	0,000	3,703	0,000	IMO A.749(18)
Aguas negras	98%	69,643	68,250	69,643	68,250	121,765	0,000	3,703	0,000	User Specified
Total Aguas Residuales	98%	355,952	348,833	355,952	348,833	117,045	0,000	3,703	0,000	
Lastre 1	0%	104,201	0,000	101,659	0,000	62,638	0,041	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 2	0%	104,201	0,000	101,659	0,000	62,638	-0,041	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 3	0%	98,919	0,000	96,506	0,000	71,116	0,025	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 4	0%	98,919	0,000	96,506	0,000	71,116	-0,025	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 5	0%	74,956	0,000	73,128	0,000	85,000	0,013	0,000	0,000	User Specified
Lastre 6	0%	74,956	0,000	73,128	0,000	85,000	-0,013	0,000	0,000	User Specified
Lastre 7	0%	69,304	0,000	67,613	0,000	93,067	0,006	0,000	0,000	User Specified
Lastre 8	0%	69,304	0,000	67,613	0,000	93,067	-0,006	0,000	0,000	User Specified
Lastre 9	0%	63,343	0,000	61,798	0,000	103,159	0,000	0,000	0,000	User Specified
Lastre 10	0%	367,756	0,000	358,787	0,000	16,308	-2,490	1,400	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 11	0%	367,756	0,000	358,787	0,000	16,308	2,490	1,400	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 12	0%	210,459	0,000	205,326	0,000	135,834	0,000	0,151	0,000	User Specified
Total Lastre	0%	1704,073	0,000	1662,510	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Total Loadcase			12791,323	3786,397	587,352	63,650	0,000	10,072	0,000	
FS correction									0,000	
VCG fluid								10,072		



Heel to Starboard deg	GZ m	Area under GZ curve from zero heel m.rad	Displacement t	Draft at FP m	Draft at AP m	WL Length m	Beam max extents on WL m	Wetted Area m^2	Waterpl. Area m^2	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	Max deck inclination deg	Trim angle (+ve by stern) deg
-40,0	-0,903	0,5180	12791	5,186	3,598	170,142	18,343	3986,470	2334,640	0,644	0,425	63,717	66,232	40,0024	-0,6272
-35,0	-1,103	0,4297	12791	5,238	4,120	159,782	20,529	3925,229	2534,628	0,681	0,416	63,695	64,793	35,0016	-0,4419
-30,0	-1,133	0,3308	12791	5,286	4,582	159,563	23,347	3859,813	2770,148	0,675	0,380	63,677	63,359	30,0009	-0,2778
-25,0	-1,027	0,2359	12791	5,313	4,940	155,607	24,225	3731,644	2827,563	0,683	0,394	63,664	62,570	25,0003	-0,1473
-20,0	-0,857	0,1534	12791	5,308	5,180	155,402	24,608	3759,890	2870,839	0,673	0,414	63,653	61,896	20,0001	-0,0505
-15,0	-0,654	0,0873	12791	5,284	5,343	155,496	24,444	3774,269	2887,676	0,663	0,449	63,645	61,343	15,0000	0,0233
-10,0	-0,444	0,0394	12791	5,256	5,456	155,312	24,199	3790,090	2898,641	0,656	0,497	63,639	60,741	10,0003	0,0788

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Heel to Starboard deg	GZ m	Area under GZ curve from zero heel m.rad	Displacement t	Draft at FP m	Draft at AP m	WL Length m	Beam max extents on WL m	Wetted Area m^2	Waterpl. Area m^2	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	Max deck inclination deg	Trim angle (+ve by stern) deg
-5,0	-0,228	0,0100	12791	5,235	5,523	154,897	24,023	3814,068	2920,356	0,654	0,555	63,635	60,004	5,0013	0,1137
0,0	0,000	0,0000	12791	5,228	5,543	154,541	23,975	3825,296	2933,643	0,654	0,614	63,634	59,650	0,1248	0,1248
5,0	0,228	0,0100	12791	5,235	5,522	154,897	24,023	3814,072	2920,347	0,654	0,555	63,636	60,004	5,0013	0,1136
10,0	0,444	0,0394	12791	5,257	5,456	155,312	24,199	3790,096	2898,628	0,656	0,497	63,640	60,741	10,0003	0,0786
15,0	0,654	0,0873	12791	5,285	5,343	155,495	24,444	3774,278	2887,662	0,663	0,449	63,646	61,343	15,0000	0,0232
20,0	0,857	0,1534	12791	5,308	5,180	155,401	24,608	3759,905	2870,825	0,673	0,414	63,654	61,897	20,0001	-0,0507
25,0	1,026	0,2359	12791	5,313	4,940	155,605	24,225	3731,670	2827,547	0,683	0,394	63,665	62,570	25,0003	-0,1477
30,0	1,133	0,3308	12791	5,286	4,582	159,560	23,347	3866,809	2770,136	0,675	0,380	63,678	63,359	30,0009	-0,2782
35,0	1,103	0,4296	12791	5,238	4,120	159,782	20,529	3925,567	2534,629	0,681	0,416	63,695	64,793	35,0016	-0,4419
40,0	0,903	0,5182	12791	5,184	3,600	170,142	18,342	3985,706	2334,644	0,644	0,425	63,712	66,232	40,0024	-0,6259
45,0	0,599	0,5843	12791	5,099	3,007	170,145	19,516	4035,889	2191,683	0,648	0,390	63,727	67,820	45,0030	-0,8265
50,0	0,234	0,6209	12791	4,952	2,320	170,148	18,527	4099,029	2084,461	0,652	0,403	63,739	69,385	50,0033	-1,0399

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = -6,02 m)		28,8	n/a
Deck Edge (immersion pos = -6,02 m)		29,2	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	22,2	deg			
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,0550	m.rad	0,3308	Pass	+501,47
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,0900	m.rad	0,5182	Pass	+475,78
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,0300	m.rad	0,1874	Pass	+524,60
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,142	Pass	+471,00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	31,8	Pass	+27,27
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,655	Pass	+1670,00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	3,9	Pass	+75,51
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	174,24	Pass	+74,24
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,5	Pass	+94,53
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	1,5	Pass	+85,46

Draft Amidships m	5,386
Displacement t	12791
Heel deg	0,0
Draft at FP m	5,227
Draft at AP m	5,544
Draft at LCF m	5,414
Trim (+ve by stern) m	0,316
WL Length m	154,542
Beam max extents on WL m	23,975
Wetted Area m ²	3825,294
Waterpl. Area m ²	2933,667
Prismatic coeff. (Cp)	0,654
Block coeff. (Cb)	0,614
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,945
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,792
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,633
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,649
KB m	3,032
KG fluid m	10,072
BMt m	9,695
BML m	329,952
GMt corrected m	2,655
GML m	322,913
KMt m	12,727
KML m	332,984
Immersion (TPc) tonne/cm	30,070
MTc tonne.m	284,861
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	592,730
Max deck inclination deg	0,1250
Trim angle (+ve by stern) deg	0,1250

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = -9,44 m)		6,236
Deck Edge (freeboard pos = -9,44 m)		6,312

Stability calculation - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Loadcase - Condición Intermedia

Damage Case - Intact

Free to Trim

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

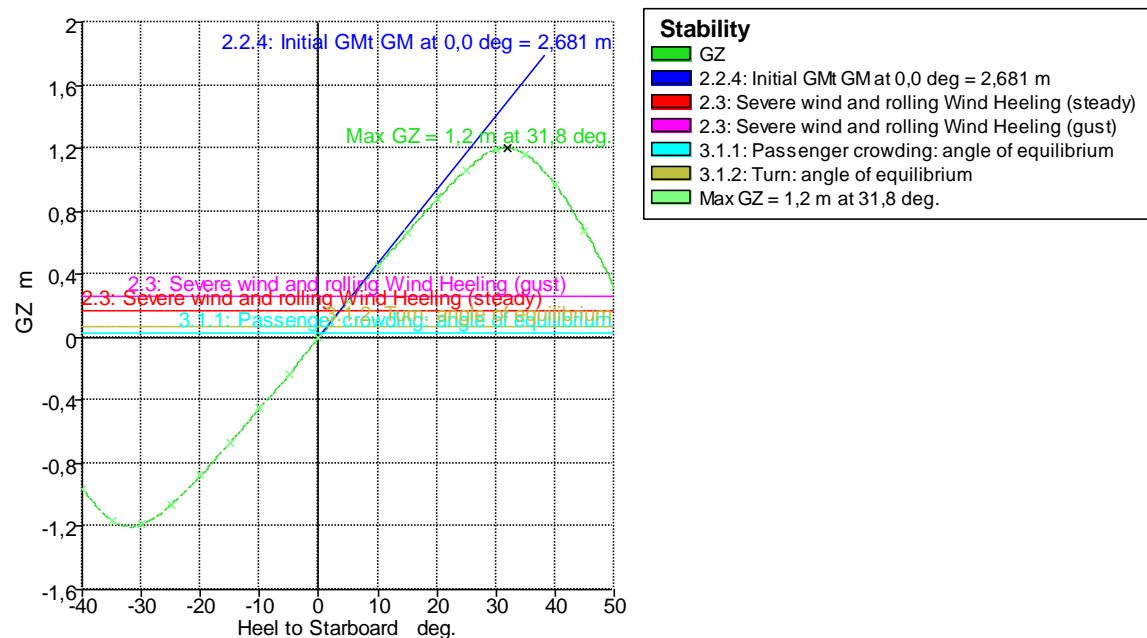
Fluid analysis method: Use corrected VCG

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Rosca	1	12026,337	12026,337			62,154	0,000	10,290	0,000	User Specified
Tripulación	1	11,250	11,250			82,600	0,000	7,100	0,000	User Specified
Pertrechos	1	30,000	30,000			121,800	0,000	6,100	0,000	User Specified
Total Pesos Fijos			12067,587			62,321	0,000	10,277	0,000	
Pasaje	1	72,000	72,000			75,600	0,000	15,800	0,000	User Specified
Viveres	1	18,500	18,500			25,200	0,000	8,800	0,000	User Specified
Piscina Cub. 5	1	37,240	37,240			0,450	0,000	14,600	0,000	User Specified
Piscina Cub. 7	1	28,126	28,126			16,450	0,000	21,300	0,000	User Specified
Piscina Cub. 9	1	4,850	4,850			115,900	0,000	27,100	0,000	User Specified
Spa Cub. 10	1	14,840	14,840			84,100	0,000	30,100	0,000	User Specified
Total Pesos Variables			175,556			46,703	0,000	17,210	0,000	
Almacén 1	0%	213,200	0,000	253,809	0,000	61,600	7,140	1,400	0,000	User Specified
Almacén 2	95,67%	202,800	194,018	241,428	230,974	61,600	2,340	3,648	0,000	User Specified
Almacén 3	95,67%	202,800	194,018	241,428	230,974	61,600	-2,340	3,648	0,000	User Specified
Almacén 4	0%	213,200	0,000	253,809	0,000	61,600	-7,140	1,400	0,000	User Specified
Uso diario 1	98%	29,126	28,543	34,673	33,980	57,400	2,340	7,423	0,000	User Specified
Uso diario 2	98%	29,126	28,543	34,673	33,980	57,400	-2,340	7,423	0,000	User Specified

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Item Name	Quantit y	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Total Combustible	50%	890,249	445,123	1059,820	529,908	61,061	0,000	4,132	0,000	
Derrames	50%	15,078	7,539	17,951	8,975	54,600	0,000	0,352	0,000	User Specified
Lodos	50%	23,837	11,918	26,108	13,054	54,595	5,712	0,410	0,000	User Specified
Aguas aceitosas	50%	23,837	11,918	26,108	13,054	54,595	-5,712	0,410	0,000	User Specified
Total Tanques Misceláneos	50%	62,752	31,376	70,167	35,084	54,596	0,000	0,396	0,000	
Aceite 1	50%	4,347	2,174	4,725	2,363	37,800	5,910	0,875	0,000	User Specified
Aceite 2	50%	4,347	2,174	4,725	2,363	37,800	-5,910	0,875	0,000	User Specified
Aceite 3	50%	4,347	2,174	4,725	2,363	46,200	5,910	0,875	0,000	User Specified
Aceite 4	50%	4,347	2,174	4,725	2,363	46,200	-5,910	0,875	0,000	User Specified
Total Aceite	50%	17,389	8,694	18,901	9,450	42,000	0,000	0,875	0,000	
Agua dulce 1	2%	154,762	3,095	154,762	3,095	77,000	4,500	1,447	0,000	User Specified
Agua dulce 2	98%	154,762	151,667	154,762	151,667	77,000	1,500	3,703	0,000	User Specified
Agua dulce 3	98%	154,762	151,667	154,762	151,667	77,000	-1,500	3,703	0,000	User Specified
Agua dulce 4	2%	154,762	3,095	154,762	3,095	77,000	-4,500	1,447	0,000	User Specified
Total Agua Dulce	50%	619,047	309,524	619,047	309,524	77,000	0,000	3,658	0,000	
Aguas grises	50%	286,309	143,154	286,309	143,154	115,897	0,000	2,575	369,103	IMO A.749(18)
Aguas negras	50%	69,643	34,822	69,643	34,822	121,765	0,000	2,575	0,000	User Specified
Total Aguas Residuales	50%	355,952	177,976	355,952	177,976	117,045	0,000	2,575	369,103	
Lastre 1	0%	104,201	0,000	101,659	0,000	62,638	0,041	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 2	0%	104,201	0,000	101,659	0,000	62,638	-0,041	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 3	0%	98,919	0,000	96,506	0,000	71,116	0,025	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 4	0%	98,919	0,000	96,506	0,000	71,116	-0,025	0,000	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 5	0%	74,956	0,000	73,128	0,000	85,000	0,013	0,000	0,000	User Specified
Lastre 6	0%	74,956	0,000	73,128	0,000	85,000	-0,013	0,000	0,000	User Specified
Lastre 7	0%	69,304	0,000	67,613	0,000	93,067	0,006	0,000	0,000	User Specified
Lastre 8	0%	69,304	0,000	67,613	0,000	93,067	-0,006	0,000	0,000	User Specified
Lastre 9	0%	63,343	0,000	61,798	0,000	103,159	0,000	0,000	0,000	User Specified
Lastre 10	0%	367,756	0,000	358,787	0,000	16,308	-2,490	1,400	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 11	0%	367,756	0,000	358,787	0,000	16,308	2,490	1,400	0,000	IMO A.749(18)
Lastre 12	0%	210,459	0,000	205,326	0,000	135,834	0,000	0,151	0,000	User Specified
Total Lastre	0%	1704,073	0,000	1662,510	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Total Loadcase			13215,836	3786,397	1061,941	63,120	0,000	9,873	369,103	
FS correction								0,028		
VCG fluid								9,901		



Heel to Starboard deg	GZ m	Area under GZ curve from zero heel m.rad	Displacement t	Draft at FP m	Draft at AP m	WL Length m	Beam max extents on WL m	Wetted Area m^2	Waterpl. Area m^2	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	Max deck inclination deg	Trim angle (+ve by stern) deg
-40,0	-0,967	0,5375	13216	5,177	4,032	170,140	18,464	4066,775	2335,773	0,645	0,426	63,169	66,218	40,0013	-0,4527
-35,0	-1,161	0,4440	13216	5,237	4,482	159,845	20,523	4007,031	2534,900	0,681	0,421	63,151	64,750	35,0007	-0,2985
-30,0	-1,190	0,3400	13216	5,291	4,884	159,599	23,369	3962,381	2784,434	0,674	0,385	63,135	63,125	30,0003	-0,1607
-25,0	-1,062	0,2410	13216	5,321	5,216	155,689	24,472	3786,536	2861,246	0,681	0,395	63,122	62,249	25,0000	-0,0414
-20,0	-0,877	0,1562	13216	5,320	5,437	155,485	24,717	3810,832	2896,936	0,671	0,417	63,113	61,600	20,0000	0,0464
-15,0	-0,666	0,0887	13216	5,301	5,587	155,530	24,492	3824,487	2908,415	0,662	0,453	63,106	61,039	15,0004	0,1130
-10,0	-0,451	0,0400	13216	5,279	5,688	155,520	24,246	3841,734	2919,023	0,655	0,499	63,101	60,400	10,0012	0,1613

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Heel to Starboard deg	GZ m	Area under GZ curve from zero heel m.rad	Displacement t	Draft at FP m	Draft at AP m	WL Length m	Beam max extents on WL m	Wetted Area m^2	Waterpl. Area m^2	Prismatic coeff. (Cp)	Block coeff. (Cb)	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	Max deck inclination deg	Trim angle (+ve by stern) deg
-5,0	-0,231	0,0101	13216	5,265	5,743	155,310	24,039	3864,868	2937,741	0,653	0,556	63,098	59,689	5,0035	0,1888
0,0	0,000	0,0000	13216	5,261	5,759	154,973	23,986	3876,163	2950,769	0,653	0,611	63,097	59,321	0,1967	0,1967
5,0	0,231	0,0101	13216	5,265	5,743	155,310	24,039	3864,871	2937,735	0,653	0,556	63,098	59,689	5,0035	0,1888
10,0	0,451	0,0400	13216	5,279	5,687	155,520	24,246	3841,741	2919,011	0,655	0,499	63,101	60,400	10,0012	0,1612
15,0	0,666	0,0887	13216	5,301	5,587	155,526	24,492	3824,496	2908,403	0,662	0,453	63,107	61,039	15,0004	0,1128
20,0	0,877	0,1562	13216	5,320	5,437	155,484	24,717	3810,846	2896,923	0,671	0,417	63,114	61,600	20,0000	0,0462
25,0	1,062	0,2410	13216	5,321	5,216	155,687	24,472	3786,563	2861,229	0,681	0,395	63,124	62,249	25,0000	-0,0417
30,0	1,190	0,3400	13216	5,291	4,883	159,596	23,369	3960,117	2784,432	0,674	0,385	63,137	63,125	30,0003	-0,1610
35,0	1,161	0,4439	13216	5,237	4,482	159,845	20,523	4005,685	2534,901	0,681	0,421	63,150	64,750	35,0007	-0,2984
40,0	0,967	0,5377	13216	5,176	4,033	170,140	18,463	4065,981	2335,776	0,645	0,426	63,164	66,218	40,0012	-0,4514
45,0	0,673	0,6098	13216	5,082	3,525	170,141	19,665	4123,127	2193,602	0,650	0,390	63,177	67,837	45,0017	-0,6154
50,0	0,320	0,6534	13216	4,925	2,937	170,143	18,497	4181,953	2085,882	0,654	0,407	63,186	69,381	50,0019	-0,7854

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg
Margin Line (immersion pos = -6,02 m)		27,4	n/a
Deck Edge (immersion pos = -6,02 m)		27,8	n/a

Code	Criteria	Value	Units	Actual	Status	Margin %
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: IMO roll back angle	22,0	deg			
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 30	0,0550	m.rad	0,3400	Pass	+518,22
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 0 to 40	0,0900	m.rad	0,5377	Pass	+497,46
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.1: Area 30 to 40	0,0300	m.rad	0,1977	Pass	+558,95
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.2: Max GZ at 30 or greater	0,200	m	1,200	Pass	+500,00
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.3: Angle of maximum GZ	25,0	deg	31,8	Pass	+27,27
267(85) Ch2 - General Criteria	2.2.4: Initial GMt	0,150	m	2,681	Pass	+1687,33
267(85) Ch2 - General Criteria	2.3: Severe wind and rolling				Pass	
	Angle of steady heel shall not be greater than (<=)	16,0	deg	3,7	Pass	+76,74
	Area1 / Area2 shall not be less than (>=)	100,00	%	194,55	Pass	+94,55
3.1 Passenger Ships	3.1.1: Passenger crowding: angle of equilibrium	10,0	deg	0,5	Pass	+94,76
3.1 Passenger Ships	3.1.2: Turn: angle of equilibrium	10,0	deg	1,4	Pass	+86,15

Anexo V/Cuaderno 5: Situaciones de carga

Lucía Barreiro Varela – Buque crucero para 360 pasajeros

Draft Amidships m	5,510
Displacement t	13216
Heel deg	0,0
Draft at FP m	5,260
Draft at AP m	5,759
Draft at LCF m	5,555
Trim (+ve by stern) m	0,499
WL Length m	154,974
Beam max extents on WL m	23,986
Wetted Area m ²	3876,150
Waterpl. Area m ²	2950,809
Prismatic coeff. (Cp)	0,653
Block coeff. (Cb)	0,611
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,945
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,794
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,095
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	59,321
KB m	3,112
KG fluid m	9,901
BMt m	9,470
BML m	323,805
GMt corrected m	2,681
GML m	317,016
KMt m	12,582
KML m	326,915
Immersion (TPc) tonne/cm	30,246
MTc tonne.m	288,940
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	618,393
Max deck inclination deg	0,1971
Trim angle (+ve by stern) deg	0,1971

Key point	Type	Freeboard m
Margin Line (freeboard pos = -9,44 m)		6,008
Deck Edge (freeboard pos = -9,44 m)		6,084



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo VI

**CUADERNO 6: PREDICCIÓN DE POTENCIA Y DISEÑO DE
PROPULSORES**



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 Estimación de la resistencia al avance	5
4 Estimación de la potencia propulsora	7
5 Cálculo de la hélice	9
Anexo VI.I: Informes Navcad	12

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es dimensionar los propulsores necesarios para que el buque pueda operar a la velocidad de servicio. Previamente, tras la obtención de las formas del buque y de sus hidrostáticas, se han obtenido los siguientes parámetros de nuestro buque proyecto:

Tabla 1: Resumen características buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos
Grupos generadores	4x3600	kW

Para lograr el objetivo de este cuaderno emplearemos el software de cálculo naval “NavCad” que nos permitirá predecir la resistencia al avance que sufre nuestro buque durante la navegación a partir de los parámetros principales. Una vez obtenido un valor de la resistencia al avance, se estimará la potencia propulsora necesaria y finalmente se definirá el motor propulsor y a partir de este, la hélice

3 ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA AL AVANCE

Para estimar la resistencia al avance del buque es necesario introducir los parámetros en una nueva hoja de NavCad. A diferencia del cuaderno 1, en este punto no es necesario que estimemos ningún parámetro ya que podemos obtenerlos de las tablas de hidrostáticas, así como de los planos realizados.

Para comenzar, abriremos una nueva hoja de cálculo en NavCad y en la parte de resistencia, incorporamos información relativa a la configuración del casco, la eslora de la línea de flotación, el desplazamiento y el número de propulsores. Además, se indicarán las velocidades para las cuales el programa estimará la resistencia al avance que irán desde los 8 a los 17 nudos, indicando que la velocidad de servicio se corresponde con 16 nudos.

El siguiente paso será introducir las características del casco como por ejemplo la posición del centro de carena o el bulbo. El programa permite estimar aquellos parámetros que se desconocen mediante funciones u otros métodos, como por ejemplo la superficie mojada o el semiángulo de entrada en proa. Sin embargo, no es preciso utilizar estas estimaciones dado que al disponer de las hidrostáticas y las formas conocemos los valores reales. El valor del ángulo de entrada lo podemos hallar midiéndolo sobre el plano de las líneas de agua. También se medirá sobre el plano las características del bulbo de proa. Uno de los parámetros que tendrá un gran efecto en la resistencia al avance es el hecho de que el buque moje o no la estampa. Como se puede apreciar en la curva de áreas de la imagen inferior, la estampa no se moja.

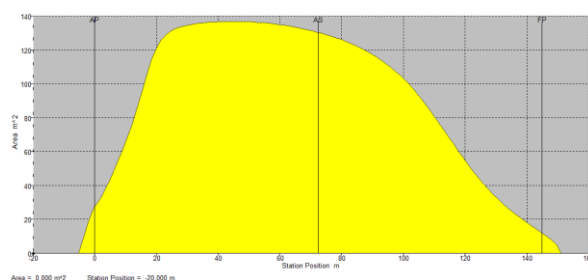


Figura 1: Curva de áreas

Además, es necesario añadir los parámetros de los apéndices: hélices de proa y estabilizadores que obtenemos de los catálogos comerciales. También se añade un factor de forma 0 para la proa correspondiente a las formas en V y un factor 1 a las formas de popa correspondiente a las formas en U.

Hull		
Configuration:	Monohull	
Chine type:	Round/multiple	
General		
Length on WL:	155,200	m
Max beam on WL:	24,000	m
Max molded draft:	6,000	m
Displacement:	14904,40	t
Wetted surface:	3938,930	m²
Demi-hull spacing:		m
ITTC-78 (CT)		
LCB fwd TR:	62,610	m
LCF fwd TR:	59,020	m
Max section area:	136,800	m²
Waterplane area:	2979,840	m²
Bulb section area:	11,860	m²
Bulb ctr below WL:	2,120	m
Bulb nose fwd TR:	156,928	m
Imm transom area:	0,000	m²
Transom beam WL:	0,000	m
Transom immersion:	0,000	m
Half entrance angle:	15,00	deg
Bow shape factor:	0,0	[AVG flow]
Stern shape factor:	1,0	[WL flow]
Planing		
Proj chine length:		m
Proj bottom area:		m²
LCG fwd TR:		m
VCG below WL:		m

Figura 2: Parámetros NavCad

Se añade un 10% de margen de mar. Escogemos este valor debido a que nos encontramos en la fase de anteproyecto y más adelante aún pueden surgir cambios que aumenten la resistencia del buque. Además, NavCad no contempla la opción de propulsores azimutales lo que puede suponer un aumento de la resistencia que sufre el casco.

Finalmente se introduce la información relativa al área de la sección transversal y longitudinal de la superestructura, dado que esta tendrá un efecto sobre la resistencia del casco.

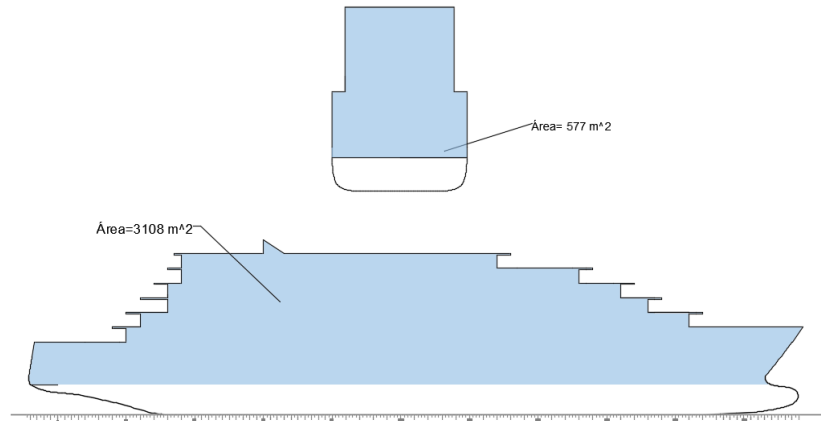


Figura 3: Área superestructura

La predicción se llevará a cabo con el método de Holtrop debido a que es uno de los métodos empleados con más frecuencia y, como nos permite comprobar el programa, los parámetros del buque proyecto se encuentran dentro de los límites de aplicación. Para estimar el factor de forma emplearemos el mismo método (ITTC-57) por las mismas razones. Finalmente, el programa nos proporciona los siguientes resultados:

Velocidad = 16 nudos

Resistencia a casco desnudo = 378,74 kN

Resistencia apéndices = 29,92 kN

Resistencia viento = 17,98 kN

Resistencia margen = 42,66 kN

Resistencia total = 469,31 kN

Potencia efectiva total = 3863,0 kW

La hoja completa con todos los datos introducidos y resultados obtenidos del NavCad se adjunta al final del cuaderno.

4 ESTIMACIÓN DE LA POTENCIA PROPULSORA

Una vez conocido el valor de la resistencia al avance, podemos estimar la potencia que necesita nuestro sistema de propulsión para operar a la velocidad de servicio (16 nudos). Esto se realizará empleando nuevamente el programa NavCad,

En primer lugar, es necesario indicarle al programa el número de propulsores. El buque proyecto contará con 2 propulsores azimutales a popa, esto permitirá mayor maniobrabilidad además de evitar que el buque se quede sin servicio de propulsión en caso de avería de unos de los azimutales ("Safe Return to Port"). Esta decisión se ha tomado en función del buque de referencia y de los buques pertenecientes a la base de datos.

Para introducir los datos en el programa tendremos en cuenta los propulsores azimutales de la empresa ABB que son unos de los más utilizados mundialmente (y también son los empleados en nuestro buque de referencia). Dentro de los AziPods ofrecidos por la empresa ABB se selecciona la gama CO por ser la que mejor se adapta al buque proyecto. Estos propulsores van directamente acoplados, es decir, sin reductoras (lo que equivale en un ratio de reducción igual a 1). Además, en propulsión eléctrica las hélices suelen ser de paso fijo debido a que los motores eléctricos son lo suficientemente flexibles. En esta primera fase se consideró una hélice de 4 palas y se fijaron las revoluciones de referencia en 300 que son las recomendadas para esta gama de propulsores.

Además, tendremos que añadir el diámetro máximo de la hélice que puede ir acoplada en la popa de nuestro buque. Sobre el plano de formas se puede apreciar que el radio máximo de la hélice es de 3 metros. Además, si observamos el catálogo de ABB comprobamos que este diámetro se encuentra de los límites permitidos por el fabricante. Por último, se le asignará al eje una eficiencia de 0.97 para tener en cuenta las posibles pérdidas entre el motor propulsor y la hélice.

Como de momento no se disponen de los datos del motor propulsor, se escoge en el programa la opción "Size by Thrust" cuyo fin es estimar un diámetro, un área expandida y un paso medio optimizados para maximizar el rendimiento y reducir los efectos de la cavitación.

Propeller sizing

To size			
Shaft RPM:	Size	252,6	RPM
Expanded area ratio:	Size	0,621	
Propeller diameter:	Size	3000,0	mm
Propeller mean pitch:	Size	2651,3	mm
Design condition [By thrust]			
Design speed:		16,00	kt
Reference thrust:		280,73	kN
Design point:		1,000	
Reference RPM:		300,0	
Design point:		1,000	
Max prop diam:		3000,0	mm
Review			
Tip speed:		39,68	m/s

Figura 4: Dimensionamiento de la hélice "Size by Thrust"

Los resultados de esta primera estimación son los siguientes:

$$\text{Diámetro del propulsor} = 3000 \text{ mm}$$

$$\text{Paso medio} = 2651.3 \text{ mm}$$

$$\text{Ratio de área expandida} = 0.6209$$

$$\text{RPM del eje} = 253 \text{ rpm}$$

$$\text{Velocidad del buque} = 16 \text{ nudos}$$

$$Potencia = 6721,5 \text{ kW}$$

$$Rendimiento \text{ del propulsor} = 57.47 \%$$

Como podemos observar el rendimiento nos da próximo al 60% por lo que lo tomaremos como válido y el coeficiente de estela (WFT) que tiene que estar en torno al 0.2 adopta un valor de 0.14.

Para calcular la potencia necesaria del motor propulsor se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{motor} = \frac{PB_{total} + PTO}{N^{\circ} \text{ motor} * R}$$

Como el crucero tiene propulsión diésel eléctrica no tiene PTO y un régimen del 90%. Cada propulsor contará con un motor eléctrico por lo que el número total de motores será igual a 2. Es decir,

$$P_{motor} = \frac{6721,5}{2 * 0.95} = 3538 \text{ kW}$$

Por tanto, para seleccionar el motor propulsor más adecuado estudiamos la tabla que propulsores que ofrece ABB y seleccionamos el modelo CO1250 con una potencia de 3800 kW.

En el catálogo de Azipod CO se encuentra el siguiente diagrama, que representa las curvas de potencia entregada por los motores eléctricos y que muestra que el modelo seleccionado el motor funciona entre 140 y 340 rpm.

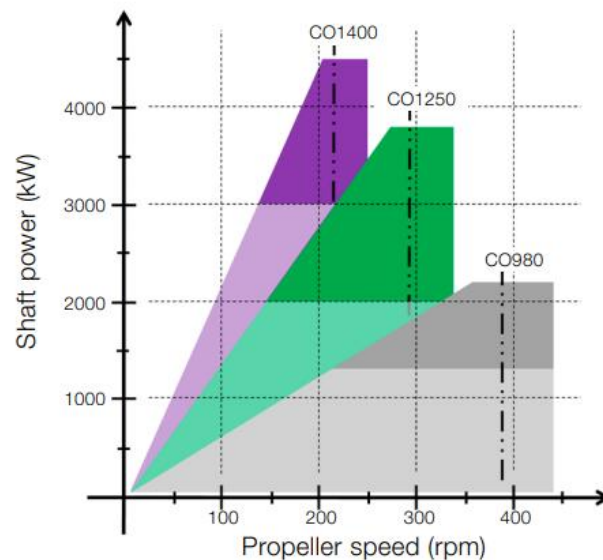


Figura 5: Diagrama Azipod CO ABB

5 CÁLCULO DE LA HÉLICE

Ahora que conocemos el motor propulsor empleado y sus características, con la ayuda del mismo Software, estudiaremos que hélice es la más adecuada para nuestro buque. NavCad nos permite calcular el propulsor teniendo en cuenta las características del motor mediante la opción "Size by power" e introduciendo los datos del motor, lo cual se hace replicando la gráfica dada por el fabricante:

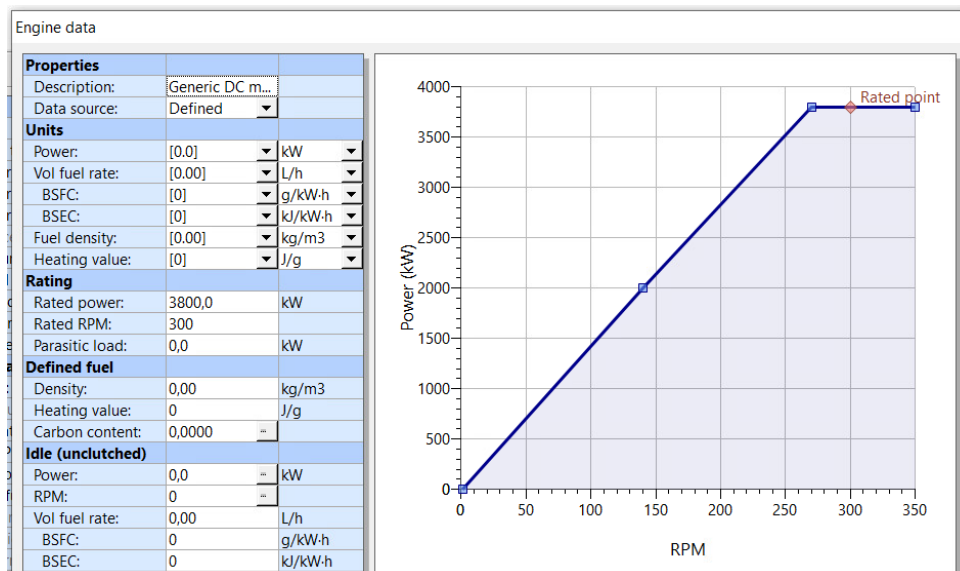


Figura 6: Información del motor

A continuación, se repite el proceso que nos permite estimar un diámetro, un área expandida y un paso medio adecuados con la diferencia de que se escogerá un punto de diseño del 90% de la MCR para no obligar al motor a trabajar a su máxima potencia. Obtenemos que para una hélice de 4 palas:

Propeller sizing

To size			
Shaft RPM:	Size	253,2	RPM
Expanded area ratio:	Size	0,624	
Propeller diameter:	Size	3000,0	mm
Propeller mean pitch:	Size	2649,3	mm
Design condition [By power]			
Design speed:		16,00	kt
Reference power:		3800,0	kW
Design point:		0,900	
Reference RPM:		300,0	
Design point:		1,000	
Max prop diam:		3000,0	mm
Review			
Tip speed:		39,77	m/s

Figura 7: Dimensionamiento de la hélice "By Power" 4 palas

Diámetro del propulsor = 3000mm

RPM = 253

Paso medio = 2649,3 mm

Ratio de área expandida = 0,6244

Velocidad del buque = 16 nudos

Potencia = 6722,3 kW

Rendimiento del propulsor = 57.07 %

Como se puede comprobar el diámetro obtenido es el diámetro máximo lo cual es normal dado que la hélice tiende a ser del mayor tamaño posible y las revoluciones obtenidas se encuentran dentro del rango al cual puede funcionar el motor propulsor seleccionado.

El siguiente paso será estudiar el rendimiento para una hélice de 4, 5 y 6 palas para obtener finalmente, el mejor rendimiento posible. El procedimiento será el mismo llevado a cabo hasta ahora y con los datos que ya se conocen del motor propulsor, solo se debe variar el número de palas de la hélice. Los resultados obtenidos son:

- **5 palas**

Propeller sizing

To size			
Shaft RPM:	Size	236,0	RPM
Expanded area ratio:	Size	0,699	
Propeller diameter:	Size	3000,0	mm
Propeller mean pitch:	Size	2873,9	mm
Design condition [By power]			
Design speed:		16,00	kt
Reference power:		3800,0	kW
Design point:		0,900	
Reference RPM:		300,0	
Design point:		1,000	
Max prop diam:		3000,0	mm
Review			
Tip speed:		37,07	m/s

Size Save report OK Cancel Help

Figura 8: Dimensionamiento de la hélice "By Power" 5 palas

Diámetro del propulsor = 3000mm

RPM = 234 rpm

Paso medio = 2873,9 mm

Ratio de área expandida = 0,6994

Velocidad del buque = 16 nudos

Potencia = 6685,9 kW

Rendimiento del propulsor = 57.78 %

- **6 palas**

Propeller sizing

To size			
Shaft RPM:	Size	219,1	RPM
Expanded area ratio:	Size	0,759	
Propeller diameter:	Size	3000,0	mm
Propeller mean pitch:	Size	3150,1	mm
Design condition [By power]			
Design speed:		16,00	kt
Reference power:		3800,0	kW
Design point:		0,900	
Reference RPM:		300,0	
Design point:		1,000	
Max prop diam:		3000,0	mm
Review			
Tip speed:		34,42	m/s

Size Save report OK Cancel Help

Figura 9: Dimensionamiento de la hélice "By Power" 6 palas

Diámetro del propulsor = 3000mm

RPM = 218 rpm

Paso medio = 3123,8 mm

Ratio de área expandida = 0,7686

Velocidad del buque = 16 nudos

Potencia = 6646,1 kW

Rendimiento del propulsor = 58.12 %

Finalmente, se escogerá una hélice de 6 palas debido a que ofrece un rendimiento del propulsor a la velocidad de servicio mayor.

Para el propulsor seleccionado obtenemos la siguiente gráfica:

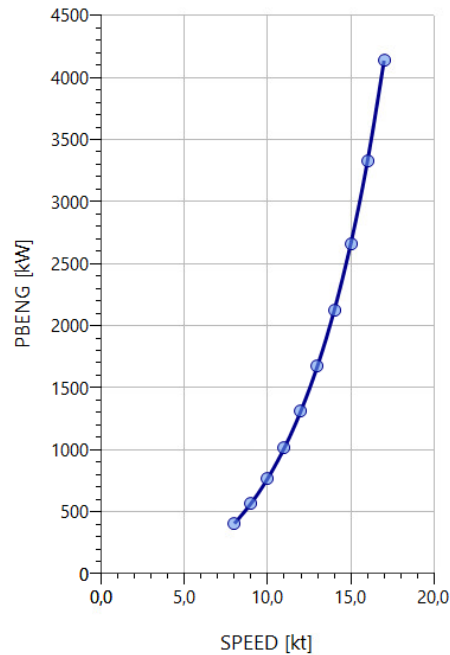


Figura 10: Gráfica Velocidad-Potencia propulsor

En los Anexos se pueden encontrar todos los informes de los resultados.

ANEXO VI.I: INFORMES NAVCAD

Resistance

19 nov 2020 08:55

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Analysis parameters

Vessel drag		ITTC-78 (CT)	Added drag	
Technique:	[Calc]	Prediction	Appendage:	[Calc] Holtrop (Component)
Prediction:		Holtrop	Wind:	[Calc] Taylor
Reference ship:			Seas:	[Off]
Model LWL:			Shallow/channel:	[Off]
Expansion:		Standard	Towed:	[Off]
Friction line:		ITTC-57	Margin:	[Calc] Hull + added drag [10%]
Hull form factor:	[On]	1,209	Water properties	
Speed corr:	[On]		Water type:	Salt
Spray drag corr:	[Off]		Density:	1026,00 kg/m3
Corr allowance:		ITTC-78 (v2008)	Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Roughness [mm]:	[On]	0,15		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T	Lambda
Value	0,21	0,68	6,47	4,00	0,80
Range	0,06-0,40	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00	0,01-1,07

Prediction results

SPEED [kt]	SPEED COEFS		ITTC-78 COEFS						
	FN	FV	RN	CF	[CV/CF]	CR	dCF	CA	CT
8,00	0,105	0,266	5,37e8	0,001656	1,209	0,000242	0,000000	0,000461	0,002704
9,00	0,119	0,299	6,04e8	0,001631	1,208	0,000240	0,000000	0,000451	0,002662
10,00	0,132	0,333	6,71e8	0,001609	1,208	0,000244	0,000000	0,000441	0,002629
11,00	0,145	0,366	7,39e8	0,001590	1,207	0,000257	0,000000	0,000432	0,002609
12,00	0,158	0,399	8,06e8	0,001572	1,206	0,000283	0,000000	0,000423	0,002603
13,00	0,171	0,432	8,73e8	0,001557	1,205	0,000323	0,000000	0,000415	0,002614
14,00	0,185	0,466	9,40e8	0,001542	1,203	0,000382	0,000000	0,000407	0,002645
15,00	0,198	0,499	1,01e9	0,001529	1,201	0,000460	0,000000	0,000399	0,002695
+ 16,00 +	0,211	0,532	1,07e9	0,001517	1,197	0,000558	0,000000	0,000392	0,002767
17,00	0,224	0,565	1,14e9	0,001506	1,194	0,000680	0,000000	0,000385	0,002861
RESISTANCE									
SPEED [kt]	RBARE [kN]	RAPP [kN]	RWIND [kN]	RSEAS [kN]	RCHAN [kN]	RTOWED [kN]	RMARGIN [kN]	RTOTAL [kN]	
8,00	92,54	7,58	4,50	0,00	0,00	0,00	10,46	115,08	
9,00	115,30	9,57	5,69	0,00	0,00	0,00	13,06	143,62	
10,00	140,61	11,79	7,02	0,00	0,00	0,00	15,94	175,37	
11,00	168,81	14,24	8,50	0,00	0,00	0,00	19,16	210,71	
12,00	200,44	16,92	10,11	0,00	0,00	0,00	22,75	250,23	
13,00	236,26	19,83	11,87	0,00	0,00	0,00	26,80	294,75	
14,00	277,19	22,97	13,77	0,00	0,00	0,00	31,39	345,32	
15,00	324,32	26,33	15,80	0,00	0,00	0,00	36,65	403,10	
+ 16,00 +	378,74	29,92	17,98	0,00	0,00	0,00	42,66	469,31	
17,00	442,25	33,74	20,30	0,00	0,00	0,00	49,63	545,91	
EFFECTIVE POWER			OTHER						
SPEED [kt]	PEBARE [kW]	PETOTAL [kW]	CTLR	CTLT	RBARE/W				
8,00	380,9	473,6	0,00509	0,05689	0,00063				
9,00	533,9	665,0	0,00506	0,05601	0,00079				
10,00	723,4	902,2	0,00514	0,05533	0,00096				
11,00	955,3	1192,4	0,00542	0,05489	0,00115				
12,00	1237,4	1544,7	0,00595	0,05477	0,00137				
13,00	1580,0	1971,2	0,00681	0,05500	0,00162				
14,00	1996,4	2487,1	0,00804	0,05565	0,00190				
15,00	2502,7	3110,6	0,00968	0,05671	0,00222				
+ 16,00 +	3117,5	3863,0	0,01174	0,05821	0,00259				
17,00	3867,7	4774,3	0,01430	0,06021	0,00303				

Resistance

19 nov 2020 08:55

HydroComp NavCad 2018

Project ID **Cuaderno 6**
Description **Predicción de potencia**
File name **Crucero.hcnc**

Hull data

General		Planing	
Configuration:	Monohull	Proj chine length:	0,000 m
Chine type:	Round/multiple	Proj bottom area:	0,000 m2
Length on WL:	155,200 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL: [LWL/BWL 6,467]	24,000 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft: [BWL/T 4,000]	6,000 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement: [CB 0,650]	14904,40 t	Deadrise:	0,00 deg
Wetted surface: [CS 2,623]	3938,930 m2	Chine beam:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Chine ht below WL:	0,000 m
LCB fwd TR: [XCB/LWL 0,403]	62,610 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR: [XCF/LWL 0,380]	59,020 m	Deadrise:	0,00 deg
Max section area: [CX 0,950]	136,800 m2	Chine beam:	0,000 m
Waterplane area: [CWP 0,800]	2979,840 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
Bulb section area:	11,860 m2	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	2,120 m	Max prop diameter:	3000,0 mm
Bulb nose fwd TR:	156,928 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Imm transom area: [ATR/AX 0,000]	0,000 m2	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL: [BTR/BWL 0,000]	0,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion: [TTR/T 0,000]	0,000 m	Transom lift device:	Flap
Half entrance angle:	15,00 deg	Device count:	0
Bow shape factor: [AVG flow]	0,0	Span:	0,000 m
Stern shape factor: [WL flow]	1,0	Chord length:	0,000 m
		Deflection angle:	0,00 deg
		Tow point fwd TR:	0,000 m
		Tow point below WL:	0,000 m

Resistance

19 nov 2020 08:55

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6
Description Predicción de potencia
File name Crucero.hcnc

Appendage data

General		Skeg/Keel	
Definition:	Component	Count:	0
Percent of hull drag:	0,00 %	Type:	Skeg
Planing influence		Mean length:	0,000 m
LCE fwd TR:	0,000 m	Mean width:	0,000 m
VCE below WL:	0,000 m	Height aft:	0,000 m
Shafting		Height mid:	0,000 m
Count:	2	Height fwd:	0,000 m
Max prop diameter:	3000,0 mm	Projected area:	0,000 m2
Shaft angle to WL:	0,00 deg	Wetted surface:	0,000 m2
Exposed shaft length:	0,000 m	Stabilizer	
Shaft diameter:	0,000 m	Count:	2
Wetted surface:	0,000 m2	Root chord:	1,060 m
Strut bossing length:	0,000 m	Tip chord:	1,060 m
Bossing diameter:	0,000 m	Span:	3,190 m
Wetted surface:	0,000 m2	T/C ratio:	0,150
Hull bossing length:	0,000 m	LE sweep:	20,00 deg
Bossing diameter:	0,000 m	Wetted surface:	6,864 m2
Wetted surface:	0,000 m2	Projected area:	3,381 m2
Strut (per shaft line)		Dynamic multiplier:	2,00
Count:	0	Bilge keel	
Root chord:	0,000 m	Count:	0
Tip chord:	0,000 mm	Mean length:	0,000 m
Span:	0,000 m	Mean base width:	0,000 m
T/C ratio:	0,000	Mean projection:	0,000 m
Projected area:	0,000 m2	Wetted surface:	0,000 m2
Wetted surface:	0,000 m2	Tunnel thruster	
Exposed palm depth:	0,000 m	Count:	2
Exposed palm width:	0,000 m	Diameter:	2,800 m
Rudder		Sonar dome	
Count:	0	Count:	0
Rudder location:	Behind propeller	Wetted surface:	0,000 m2
Type:	Balanced foil	Miscellaneous	
Root chord:	0,000 m	Count:	0
Tip chord:	0,000 m	Drag area:	0,000 m2
Span:	0,000 m	Drag coef:	0,00
T/C ratio:	0,000		
LE sweep:	0,00 deg		
Projected area:	0,000 m2		
Wetted surface:	0,000 m2		

Environment data

Wind		Seas	
Wind speed:	0,00 kt	Significant wave ht:	0,000 m
Angle off bow:	0,00 deg	Modal wave period:	0,0 sec
Gradient correction:	Off	Shallow/channel	
Exposed hull		Water depth:	0,000 m
Transverse area:	0,000 m2	Type:	Shallow water
VCE above WL:	0,000 m	Channel width:	0,000 m
Profile area:	0,000 m2	Channel side slope:	0,00 deg
Superstructure		Hull girth:	0,000 m
Superstructure shape:	Cruise ship		
Transverse area:	577,000 m2		
VCE above WL:	9,000 m		
Profile area:	3108,000 m2		

Symbols and values

SPEED = Vessel speed
FN = Froude number [LWL]
FV = Froude number [VOL]

RN = Reynolds number [LWL]
CF = Frictional resistance coefficient
CV/CF = Viscous/frictional resistance coefficient ratio [dynamic form factor]
CR = Residuary resistance coefficient
dCF = Added frictional resistance coefficient for roughness
CA = Correlation allowance [dynamic]
CT = Total bare-hull resistance coefficient

RBARE = Bare-hull resistance
RAPP = Additional appendage resistance
RWIND = Additional wind resistance
RSEAS = Additional sea-state resistance
RCHAN = Additional shallow/channel resistance
RTOWED = Additional towed object resistance
RMARGIN = Resistance margin
RTOTAL = Total vessel resistance

PEBARE = Bare-hull effective power
PETOTAL = Total effective power

CTLR = Telfer residuary resistance coefficient
CTLT = Telfer total bare-hull resistance coefficient
RBARE/W = Bare-hull resistance to weight ratio

+ = Design speed indicator
* = Exceeds parameter limit

Propulsion

19 nov 2020 08:57

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	3000,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[Off]	RPM constraint:	
Rudder location:		Limit [RPM/s]:	
Friction line:		Water properties	
Hull form factor:		Water type:	Salt
Corr allowance:		Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,21	0,68	6,47	4,00
Range	0,06--0,80	0,55--0,85	3,90--14,90	2,10--4,00

Prediction results [System]

HULL-PROPULSOR					ENGINE			FUEL PER ENGINE	
SPEED [kt]	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBENG [kW]	LOADENG [% rated]	VOLRATE [L/h]	MASSRATE [t/h]
8,00	473,6	0,1589	0,1641	1,0179	125	410,0	0,0	---	---
9,00	665,0	0,1587	0,1641	1,0179	141	573,9	0,0	---	---
10,00	902,2	0,1586	0,1641	1,0179	156	776,8	0,0	---	---
11,00	1192,4	0,1584	0,1641	1,0179	171	1025,2	0,0	---	---
12,00	1544,7	0,1583	0,1641	1,0179	186	1327,6	0,0	---	---
13,00	1971,2	0,1581	0,1641	1,0179	202	1695,7	0,0	---	---
14,00	2487,1	0,1580	0,1641	1,0179	218	2144,4	0,0	---	---
15,00	3110,6	0,1579	0,1641	1,0179	235	2692,1	0,0	---	---
+ 16,00 +	3863,0	0,1578	0,1641	1,0179	253	3360,8	0,0	---	---
17,00	4774,3	0,1577	0,1641	1,0179	271	4182,3	0,0	---	---
EFFICIENCY			THRUST						
SPEED [kt]	EFFO	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]				
8,00	0,5887	0,5776	0,52396	68,84	115,08				
9,00	0,5906	0,5794	0,52186	85,91	143,62				
10,00	0,5921	0,5807	0,52019	104,90	175,37				
11,00	0,5930	0,5815	0,51911	126,04	210,71				
12,00	0,5934	0,5818	0,51874	149,68	250,22				
13,00	0,5929	0,5812	0,51924	176,31	294,75				
14,00	0,5916	0,5799	0,52068	206,56	345,32				
15,00	0,5895	0,5777	0,52307	241,12	403,10				
+ 16,00 +	0,5865	0,5747	0,52637	280,73	469,31				
17,00	0,5825	0,5708	0,53065	326,55	545,91				
POWER DELIVERY									
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	QENG [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	
8,00	125	30,80	30,80	397,7	410,0	819,9	819,9	733,7	
9,00	141	38,49	38,49	556,7	573,9	1147,8	1147,8	589,6	
10,00	156	47,04	47,04	753,5	776,8	1553,6	1553,6	484,0	
11,00	171	56,55	56,55	994,4	1025,2	2050,4	2050,4	403,4	
12,00	186	67,17	67,17	1287,8	1327,6	2655,3	2655,3	339,8	
13,00	202	79,11	79,11	1644,9	1695,7	3391,5	3391,5	288,2	
14,00	218	92,60	92,60	2080,1	2144,4	4288,8	4288,8	245,5	
15,00	235	107,95	107,95	2611,4	2692,1	5384,2	5384,2	209,5	
+ 16,00 +	253	125,45	125,45	3259,9	3360,8	6721,5	6721,5	179,0	
17,00	271	145,57	145,57	4056,8	4182,3	8364,5	8364,5	152,8	

Propulsion

19 nov 2020 08:57

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Prediction results [Propulsor]

CAVITATION									
SPEED [kt]	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
8,00	22,76	6,93	1,35	19,71	0,200	15,68	2,0	2,0	2157,9
9,00	17,97	5,52	1,07	22,08	0,234	19,57	2,0	2,0	2161,5
10,00	14,55	4,50	0,87	24,46	0,271	23,90	2,0	2,0	2164,4
11,00	12,02	3,73	0,73	26,85	0,313	28,72	2,0	2,0	2166,3
12,00	10,10	3,14	0,61	29,27	0,360	34,10	2,3	2,3	2166,9
13,00	8,60	2,67	0,52	31,75	0,413	40,17	3,0	3,0	2166,0
14,00	7,41	2,29	0,44	34,30	0,473	47,06	4,1	4,1	2163,6
15,00	6,46	1,97	0,38	36,93	0,542	54,94 !	5,6	5,6	2159,4
+ 16,00 +	5,67	1,71	0,33	39,68	0,621	63,96 !!	7,8	7,8	2153,7
17,00	5,02	1,49	0,29	42,55	0,712	74,40 !!	10,9	10,9	2146,3
PROPULSOR COEFS									
SPEED [kt]	J	KT	KQ	KT/J2	KQ/J3	CTH	CP	RNPROP	
8,00	0,5517	0,1894	0,02825	0,62219	0,16821	1,5844	2,6441	1,28e7	
9,00	0,5541	0,1883	0,02812	0,61324	0,16526	1,5616	2,5977	1,44e7	
10,00	0,5561	0,1875	0,02802	0,60628	0,16297	1,5439	2,5618	1,59e7	
11,00	0,5573	0,1869	0,02795	0,60178	0,1615	1,5324	2,5387	1,75e7	
12,00	0,5577	0,1867	0,02793	0,60029	0,16102	1,5286	2,531	1,91e7	
13,00	0,5571	0,1870	0,02796	0,60233	0,16168	1,5338	2,5415	2,07e7	
14,00	0,5555	0,1877	0,02805	0,60828	0,16363	1,549	2,5721	2,24e7	
15,00	0,5527	0,1889	0,02819	0,61839	0,16696	1,5747	2,6244	2,41e7	
+ 16,00 +	0,5489	0,1906	0,02839	0,63263	0,17167	1,611	2,6985	2,58e7	
17,00	0,5439	0,1928	0,02865	0,65171	0,17805	1,6596	2,7988	2,77e7	

Report ID20201119-2057

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002

Hull data

General		Planing	
Configuration:	Monohull	Proj chine length:	0,000 m
Chine type:	Round/multiple	Proj bottom area:	0,000 m ²
Length on WL:	155,200 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 6,467] 24,000 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 4,000] 6,000 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,650] 14904,40 t	Deadrise:	0,00 deg
Wetted surface:	[CS 2,623] 3938,930 m²	Chine beam:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Chine ht below WL:	0,000 m
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,403] 62,610 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,380] 59,020 m	Deadrise:	0,00 deg
Max section area:	[CX 0,950] 136,800 m²	Chine beam:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,800] 2979,840 m²	Chine ht below WL:	0,000 m
Bulb section area:	11,860 m²	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	2,120 m	Max prop diameter:	3000,0 mm
Bulb nose fwd TR:	156,928 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Imm transom area:	[ATR/AX 0,000] 0,000 m²	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,000] 0,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,000] 0,000 m	Transom lift device:	Flap
Half entrance angle:	15,00 deg	Device count:	0
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0	Span:	0,000 m
Stern shape factor:	[WL flow] 1,0	Chord length:	0,000 m
		Deflection angle:	0,00 deg
		Tow point fwd TR:	0,000 m
		Tow point below WL:	0,000 m

Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	2	Oblique angle corr:	Off
Propulsor type:	Propeller series	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Propeller type:	FPP	Added rise of run:	0,00 deg
Propeller series:	B Series	Propeller cup:	0,0 mm
Propeller sizing:	By thrust	KTKQ corrections:	Standard
Reference prop:		Scale correction:	Full ITTC
Blade count:	4	KT multiplier:	1,000
Expanded area ratio:	0,6209 [Size]	KQ multiplier:	1,000
Propeller diameter:	3000,0 mm [Size]	Blade T/C [0.7R]:	Standard
Propeller mean pitch:	[P/D 0,8838] 2651,3 mm [Size]	Roughness:	Standard
Hub immersion:	4000,0 mm	Cav breakdown:	Off
Engine/gear		Design condition [By thrust]	
Drive line:	Direct drive	Max prop diam:	3000,0 mm
Gear input:	No gearbox	Design speed:	16,00 kt
Engine data:	Generic DC motor	Reference thrust:	280,73 kW
Rated RPM:	0 RPM	Design point:	1,000
Rated power:	0,0 kW	Reference RPM:	300,0 RPM
Primary fuel:	Defined	Design point:	1,000
Secondary fuel:	None	Shaft RPM:	252,6 RPM [Size]
Gear efficiency:	1,000		
Load correction:	Off		
Gear ratio:	1,000		
Shaft efficiency:	0,970		

Symbols and values

SPEED = Vessel speed

PETOTAL = Total vessel effective power
WFT = Taylor wake fraction coefficient
THD = Thrust deduction coefficient
EFFR = Relative-rotative efficiency

RPMENG = Engine RPM
PBENG = Brake power per engine
VOLRATE = Volumetric fuel rate total Primary
LOADENG = Engine load as a percentage of engine rated power

RPMPROP = Propulsor RPM
QPROP = Propulsor open water torque
QENG = Engine torque
PDPROP = Delivered power per propulsor
PSPROP = Shaft power per propulsor
PSTOTAL = Total vessel shaft power
PBTOTAL = Total vessel brake power
TRANSP = Transport factor

EFFO = Propulsor open-water efficiency
EFFG = Gear efficiency (load corrected)
EFFOA = Overall propulsion efficiency [=PETOTAL/PSTOTAL]
MERIT = Propulsor merit coefficient

THRPROP = Open-water thrust per propulsor
DELTHR = Total vessel delivered thrust

J = Propulsor advance coefficient
KT = Propulsor thrust coefficient [horizontal, if in oblique flow]
KQ = Propulsor torque coefficient
KT/J2 = Propulsor thrust loading ratio
KQ/J3 = Propulsor torque loading ratio
CTH = Horizontal component of bare-hull resistance coefficient
CP = Propulsor thrust loading coefficient
RNPROP = Propeller Reynolds number at 0.7R

SIGMAV = Cavitation number of propeller by vessel speed
SIGMAN = Cavitation number of propeller by RPM
SIGMA07R = Cavitation number of blade section at 0.7R
TIPSPEED = Propeller circumferential tip speed
MINBAR = Minimum expanded blade area ratio recommended by selected cavitation criteria
PRESS = Average propeller loading pressure
CAVAVG = Average predicted back cavitation percentage
CAVMAX = Peak predicted back cavitation percentage [if in oblique flow]
PITCHFC = Minimum recommended pitch to avoid face cavitation

+ = Design speed indicator
* = Exceeds recommended parameter limit
! = Exceeds recommended cavitation criteria [warning]
!! = Substantially exceeds recommended cavitation criteria [critical]
!!! = Thrust breakdown is indicated [severe]
--- = Insignificant or not applicable

Propulsion

19 nov 2020 09:03

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	3000,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[Off]	RPM constraint:	
Rudder location:		Limit [RPM/s]:	
Friction line:		Water properties	
Hull form factor:		Water type:	Salt
Corr allowance:		Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,21	0,68	6,47	4,00
Range	0,06--0,80	0,55--0,85	3,90--14,90	2,10--4,00

Prediction results [System]

HULL-PROPULSOR					ENGINE			FUEL PER ENGINE	
SPEED [kt]	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBENG [kW]	LOADENG [% rated]	VOLRATE [L/h]	MASSRATE [t/h]
8,00	473,6	0,1589	0,1641	1,0179	126	410,0	10,8	---	---
9,00	665,0	0,1587	0,1641	1,0179	141	573,9	15,1	---	---
10,00	902,2	0,1586	0,1641	1,0179	156	776,9	20,4	---	---
11,00	1192,4	0,1584	0,1641	1,0179	171	1025,3	27,0	---	---
12,00	1544,7	0,1583	0,1641	1,0179	186	1327,8	34,9	---	---
13,00	1971,2	0,1581	0,1641	1,0179	202	1696,0	44,6	---	---
14,00	2487,1	0,1580	0,1641	1,0179	218	2144,7	56,4	---	---
15,00	3110,6	0,1579	0,1641	1,0179	235	2692,5	70,9	---	---
+ 16,00 +	3863,0	0,1578	0,1641	1,0179	253	3361,2	88,5	---	---
17,00	4774,3	0,1577	0,1641	1,0179	271	4182,8	110,1	---	---
EFFICIENCY			THRUST						
SPEED [kt]	EFFO	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]				
8,00	0,5886	0,5776	0,52387	68,84	115,08				
9,00	0,5905	0,5793	0,52177	85,91	143,62				
10,00	0,5920	0,5806	0,5201	104,90	175,37				
11,00	0,5929	0,5815	0,51902	126,04	210,71				
12,00	0,5933	0,5817	0,51865	149,68	250,22				
13,00	0,5928	0,5812	0,51915	176,31	294,75				
14,00	0,5915	0,5798	0,52059	206,56	345,32				
15,00	0,5894	0,5776	0,52298	241,12	403,10				
+ 16,00 +	0,5864	0,5746	0,52628	280,73	469,31				
17,00	0,5824	0,5707	0,53056	326,55	545,91				
POWER DELIVERY									
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	QENG [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	
8,00	126	30,79	30,79	397,7	410,0	820,0	820,0	733,6	
9,00	141	38,47	38,47	556,7	573,9	1147,9	1147,9	589,5	
10,00	156	47,02	47,02	753,6	776,9	1553,8	1553,8	483,9	
11,00	171	56,53	56,53	994,6	1025,3	2050,6	2050,6	403,3	
12,00	186	67,15	67,15	1288,0	1327,8	2655,6	2655,6	339,8	
13,00	202	79,07	79,07	1645,1	1696,0	3391,9	3391,9	288,2	
14,00	218	92,56	92,56	2080,3	2144,7	4289,3	4289,3	245,4	
15,00	235	107,90	107,90	2611,7	2692,5	5384,9	5384,9	209,5	
+ 16,00 +	253	125,39	125,39	3260,3	3361,2	6722,3	6722,3	179,0	
17,00	271	145,51	145,51	4057,3	4182,8	8365,5	8365,5	152,8	

Propulsion

19 nov 2020 09:03

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Prediction results [Propulsor]

CAVITATION									
SPEED [kt]	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
8,00	22,76	6,92	1,35	19,72	0,200	15,60	2,0	2,0	2156,6
9,00	17,97	5,51	1,07	22,10	0,234	19,46	2,0	2,0	2160,3
10,00	14,55	4,49	0,87	24,47	0,271	23,77	2,0	2,0	2163,1
11,00	12,02	3,73	0,72	26,86	0,313	28,56	2,0	2,0	2165,0
12,00	10,10	3,14	0,61	29,29	0,360	33,91	2,2	2,2	2165,6
13,00	8,60	2,67	0,52	31,77	0,413	39,95	2,9	2,9	2164,7
14,00	7,41	2,29	0,44	34,32	0,473	46,80	4,0	4,0	2162,3
15,00	6,46	1,97	0,38	36,96	0,542	54,63 !	5,5	5,5	2158,2
+ 16,00 +	5,67	1,71	0,33	39,70	0,621	63,61 !!	7,6	7,6	2152,5
17,00	5,02	1,48	0,29	42,57	0,712	73,99 !!	10,7	10,7	2145,1
PROPULSOR COEFS									
SPEED [kt]	J	KT	KQ	KT/J2	KQ/J3	CTH	CP	RNPROP	
8,00	0,5514	0,1892	0,02820	0,62219	0,16824	1,5844	2,6445	1,29e7	
9,00	0,5538	0,1881	0,02807	0,61324	0,16529	1,5616	2,5981	1,45e7	
10,00	0,5557	0,1872	0,02797	0,60628	0,163	1,5439	2,5621	1,60e7	
11,00	0,5570	0,1867	0,02791	0,60178	0,16153	1,5324	2,539	1,76e7	
12,00	0,5574	0,1865	0,02789	0,60029	0,16104	1,5286	2,5314	1,92e7	
13,00	0,5568	0,1868	0,02792	0,60233	0,16171	1,5338	2,5418	2,08e7	
14,00	0,5552	0,1875	0,02800	0,60828	0,16366	1,549	2,5725	2,25e7	
15,00	0,5524	0,1887	0,02815	0,61839	0,16698	1,5747	2,6247	2,42e7	
+ 16,00 +	0,5486	0,1904	0,02835	0,63263	0,1717	1,611	2,6989	2,60e7	
17,00	0,5436	0,1926	0,02860	0,65171	0,17808	1,6596	2,7991	2,79e7	

Report ID20201119-2103

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002

Propulsion

19 nov 2020 09:03

HydroComp NavCad 2018

Project ID **Cuaderno 6**
Description **Predicción de potencia**
File name **Crucero.hcnc**

Hull data

General		Planing	
Configuration:	Monohull	Proj chine length:	0,000 m
Chine type:	Round/multiple	Proj bottom area:	0,000 m ²
Length on WL:	155,200 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 6,467] 24,000 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 4,000] 6,000 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,650] 14904,40 t	Deadrise:	0,00 deg
Wetted surface:	[CS 2,623] 3938,930 m²	Chine beam:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Chine ht below WL:	0,000 m
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,403] 62,610 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,380] 59,020 m	Deadrise:	0,00 deg
Max section area:	[CX 0,950] 136,800 m²	Chine beam:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,800] 2979,840 m²	Chine ht below WL:	0,000 m
Bulb section area:	11,860 m²	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	2,120 m	Max prop diameter:	3000,0 mm
Bulb nose fwd TR:	156,928 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Imm transom area:	[ATR/AX 0,000] 0,000 m²	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,000] 0,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,000] 0,000 m	Transom lift device:	Flap
Half entrance angle:	15,00 deg	Device count:	0
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0	Span:	0,000 m
Stern shape factor:	[WL flow] 1,0	Chord length:	0,000 m
		Deflection angle:	0,00 deg
		Tow point fwd TR:	0,000 m
		Tow point below WL:	0,000 m

Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	2	Oblique angle corr:	Off
Propulsor type:	Propeller series	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Propeller type:	FPP	Added rise of run:	0,00 deg
Propeller series:	B Series	Propeller cup:	0,0 mm
Propeller sizing:	By power	KTKQ corrections:	Standard
Reference prop:		Scale correction:	Full ITTC
Blade count:	4	KT multiplier:	1,000
Expanded area ratio:	0,6244 [Size]	KQ multiplier:	1,000
Propeller diameter:	3000,0 mm [Size]	Blade T/C [0.7R]:	Standard
Propeller mean pitch:	[P/D 0,8831] 2649,3 mm [Size]	Roughness:	Standard
Hub immersion:	4000,0 mm	Cav breakdown:	Off
Engine/gear		Design condition [By power]	
Drive line:	Direct drive	Max prop diam:	3000,0 mm
Gear input:	No gearbox	Design speed:	16,00 kt
Engine data:	Generic DC motor	Reference power:	3800,0 kW
Rated RPM:	300 RPM	Design point:	0,900
Rated power:	3800,0 kW	Reference RPM:	300,0 RPM
Primary fuel:	Defined	Design point:	1,000
Secondary fuel:	None	Shaft RPM:	253,2 RPM [Size]
Gear efficiency:	1,000		
Load correction:	Off		
Gear ratio:	1,000		
Shaft efficiency:	0,970		

Symbols and values

SPEED = Vessel speed

PETOTAL = Total vessel effective power
WFT = Taylor wake fraction coefficient
THD = Thrust deduction coefficient
EFFR = Relative-rotative efficiency

RPMENG = Engine RPM
PBENG = Brake power per engine
VOLRATE = Volumetric fuel rate total Primary
LOADENG = Engine load as a percentage of engine rated power

RPMPROP = Propulsor RPM
QPROP = Propulsor open water torque
QENG = Engine torque
PDPROP = Delivered power per propulsor
PSPROP = Shaft power per propulsor
PSTOTAL = Total vessel shaft power
PBTOTAL = Total vessel brake power
TRANSP = Transport factor

EFFO = Propulsor open-water efficiency
EFFG = Gear efficiency (load corrected)
EFFOA = Overall propulsion efficiency [=PETOTAL/PSTOTAL]
MERIT = Propulsor merit coefficient

THRPROP = Open-water thrust per propulsor
DELTHR = Total vessel delivered thrust

J = Propulsor advance coefficient
KT = Propulsor thrust coefficient [horizontal, if in oblique flow]
KQ = Propulsor torque coefficient
KT/J2 = Propulsor thrust loading ratio
KQ/J3 = Propulsor torque loading ratio
CTH = Horizontal component of bare-hull resistance coefficient
CP = Propulsor thrust loading coefficient
RNPROP = Propeller Reynolds number at 0.7R

SIGMAV = Cavitation number of propeller by vessel speed
SIGMAN = Cavitation number of propeller by RPM
SIGMA07R = Cavitation number of blade section at 0.7R
TIPSPEED = Propeller circumferential tip speed
MINBAR = Minimum expanded blade area ratio recommended by selected cavitation criteria
PRESS = Average propeller loading pressure
CAVAVG = Average predicted back cavitation percentage
CAVMAX = Peak predicted back cavitation percentage [if in oblique flow]
PITCHFC = Minimum recommended pitch to avoid face cavitation

+ = Design speed indicator
* = Exceeds recommended parameter limit
! = Exceeds recommended cavitation criteria [warning]
!! = Substantially exceeds recommended cavitation criteria [critical]
!!! = Thrust breakdown is indicated [severe]
--- = Insignificant or not applicable

Propulsion

19 nov 2020 09:05

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	3000,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[Off]	RPM constraint:	
Rudder location:		Limit [RPM/s]:	
Friction line:		Water properties	
Hull form factor:		Water type:	Salt
Corr allowance:		Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,21	0,68	6,47	4,00
Range	0,06-0,80	0,55-0,85	3,90-14,90	2,10-4,00

Prediction results [System]

HULL-PROPULSOR					ENGINE			FUEL PER ENGINE	
SPEED [kt]	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBENG [kW]	LOADENG [% rated]	VOLRATE [L/h]	MASSRATE [t/h]
8,00	473,6	0,1589	0,1641	1,0132	116	407,8	10,7	---	---
9,00	665,0	0,1587	0,1641	1,0132	130	570,8	15,0	---	---
10,00	902,2	0,1586	0,1641	1,0132	144	772,7	20,3	---	---
11,00	1192,4	0,1584	0,1641	1,0132	159	1019,8	26,8	---	---
12,00	1544,7	0,1583	0,1641	1,0132	173	1320,6	34,8	---	---
13,00	1971,2	0,1581	0,1641	1,0132	188	1686,8	44,4	---	---
14,00	2487,1	0,1580	0,1641	1,0132	203	2133,1	56,1	---	---
15,00	3110,6	0,1579	0,1641	1,0132	218	2677,9	70,5	---	---
+ 16,00 +	3862,9	0,1578	0,1641	1,0132	234	3342,9	88,0	---	---
17,00	4774,3	0,1577	0,1641	1,0132	251	4160,1	109,5	---	---
EFFICIENCY			THRUST						
SPEED [kt]	EFFO	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]				
8,00	0,5946	0,5807	0,52919	68,84	115,08				
9,00	0,5965	0,5825	0,52705	85,91	143,62				
10,00	0,5980	0,5838	0,52538	104,90	175,37				
11,00	0,5989	0,5846	0,52428	126,04	210,71				
12,00	0,5993	0,5848	0,52391	149,68	250,22				
13,00	0,5988	0,5843	0,52441	176,31	294,75				
14,00	0,5975	0,5830	0,52586	206,56	345,32				
15,00	0,5954	0,5808	0,52829	241,12	403,10				
+ 16,00 +	0,5924	0,5778	0,53163	280,73	469,31				
17,00	0,5884	0,5738	0,53596	326,55	545,91				
POWER DELIVERY									
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	QENG [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	
8,00	116	32,87	32,87	395,5	407,8	815,6	815,6	737,6	
9,00	130	41,07	41,07	553,7	570,8	1141,6	1141,6	592,8	
10,00	144	50,19	50,19	749,5	772,7	1545,4	1545,4	486,5	
11,00	159	60,34	60,34	989,2	1019,8	2039,6	2039,6	405,5	
12,00	173	71,68	71,68	1281,0	1320,6	2641,3	2641,3	341,6	
13,00	188	84,41	84,41	1636,2	1686,8	3373,6	3373,6	289,8	
14,00	203	98,81	98,81	2069,1	2133,1	4266,1	4266,1	246,8	
15,00	218	115,18	115,18	2597,5	2677,9	5355,8	5355,8	210,6	
+ 16,00 +	234	133,85	133,85	3242,6	3342,9	6685,9	6685,9	179,9	
17,00	251	155,33	155,33	4035,3	4160,1	8320,1	8320,1	153,6	

Propulsion

19 nov 2020 09:05

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Prediction results [Propulsor]

CAVITATION									
SPEED [kt]	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
8,00	22,76	8,04	1,55	18,29	0,213	13,93	2,0	2,0	2325,5
9,00	17,97	6,41	1,23	20,49	0,251	17,38	2,0	2,0	2329,4
10,00	14,55	5,22	1,01	22,69	0,293	21,22	2,0	2,0	2332,5
11,00	12,02	4,34	0,83	24,91	0,340	25,50	2,0	2,0	2334,5
12,00	10,10	3,65	0,70	27,16	0,393	30,28	2,0	2,0	2335,1
13,00	8,60	3,10	0,60	29,46	0,452	35,67	2,6	2,6	2334,2
14,00	7,41	2,66	0,51	31,82	0,520	41,79	3,5	3,5	2331,6
15,00	6,46	2,29	0,44	34,27	0,597	48,78	4,7	4,7	2327,1
+ 16,00 +	5,67	1,99	0,38	36,82	0,685	56,79 !	6,4	6,4	2321,0
17,00	5,02	1,73	0,33	39,48	0,787	66,06 !!	8,9	8,9	2313,1
PROPULSOR COEFS									
SPEED [kt]	J	KT	KQ	KT/J2	KQ/J3	CTH	CP	RNPROP	
8,00	0,5945	0,2199	0,03500	0,62218	0,16655	1,5844	2,6301	1,08e7	
9,00	0,5972	0,2187	0,03484	0,61321	0,16362	1,5615	2,5839	1,21e7	
10,00	0,5992	0,2177	0,03472	0,60628	0,16137	1,5439	2,5483	1,34e7	
11,00	0,6006	0,2171	0,03464	0,60178	0,15991	1,5324	2,5253	1,47e7	
12,00	0,6010	0,2168	0,03461	0,60029	0,15943	1,5286	2,5177	1,60e7	
13,00	0,6004	0,2171	0,03465	0,60233	0,16009	1,5338	2,5281	1,74e7	
14,00	0,5986	0,2180	0,03476	0,60828	0,16202	1,549	2,5586	1,88e7	
15,00	0,5957	0,2194	0,03494	0,61839	0,16531	1,5747	2,6105	2,02e7	
+ 16,00 +	0,5915	0,2214	0,03518	0,63263	0,16998	1,611	2,6842	2,17e7	
17,00	0,5862	0,2239	0,03550	0,65171	0,17629	1,6596	2,7839	2,33e7	

Report ID20201119-2105

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002

Hull data

General		Planing	
Configuration:	Monohull	Proj chine length:	0,000 m
Chine type:	Round/multiple	Proj bottom area:	0,000 m ²
Length on WL:	155,200 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 6,467] 24,000 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 4,000] 6,000 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,650] 14904,40 t	Deadrise:	0,00 deg
Wetted surface:	[CS 2,623] 3938,930 m²	Chine beam:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Chine ht below WL:	0,000 m
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,403] 62,610 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,380] 59,020 m	Deadrise:	0,00 deg
Max section area:	[CX 0,950] 136,800 m²	Chine beam:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,800] 2979,840 m²	Chine ht below WL:	0,000 m
Bulb section area:	11,860 m²	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	2,120 m	Max prop diameter:	3000,0 mm
Bulb nose fwd TR:	156,928 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Imm transom area:	[ATR/AX 0,000] 0,000 m²	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,000] 0,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,000] 0,000 m	Transom lift device:	Flap
Half entrance angle:	15,00 deg	Device count:	0
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0	Span:	0,000 m
Stern shape factor:	[WL flow] 1,0	Chord length:	0,000 m
		Deflection angle:	0,00 deg
		Tow point fwd TR:	0,000 m
		Tow point below WL:	0,000 m

Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	2	Oblique angle corr:	Off
Propulsor type:	Propeller series	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Propeller type:	FPP	Added rise of run:	0,00 deg
Propeller series:	B Series	Propeller cup:	0,0 mm
Propeller sizing:	By power	KTKQ corrections:	Standard
Reference prop:		Scale correction:	Full ITTC
Blade count:	5	KT multiplier:	1,000
Expanded area ratio:	0,6994 [Size]	KQ multiplier:	1,000
Propeller diameter:	3000,0 mm [Size]	Blade T/C [0.7R]:	Standard
Propeller mean pitch:	[P/D 0,9580] 2873,9 mm [Size]	Roughness:	Standard
Hub immersion:	4000,0 mm	Cav breakdown:	Off
Engine/gear		Design condition [By power]	
Drive line:	Direct drive	Max prop diam:	3000,0 mm
Gear input:	No gearbox	Design speed:	16,00 kt
Engine data:	Generic DC motor	Reference power:	3800,0 kW
Rated RPM:	300 RPM	Design point:	0,900
Rated power:	3800,0 kW	Reference RPM:	300,0 RPM
Primary fuel:	Defined	Design point:	1,000
Secondary fuel:	None	Shaft RPM:	236,0 RPM [Size]
Gear efficiency:	1,000		
Load correction:	Off		
Gear ratio:	1,000		
Shaft efficiency:	0,970		

Symbols and values

SPEED = Vessel speed

PETOTAL = Total vessel effective power
WFT = Taylor wake fraction coefficient
THD = Thrust deduction coefficient
EFFR = Relative-rotative efficiency

RPMENG = Engine RPM
PBENG = Brake power per engine
VOLRATE = Volumetric fuel rate total Primary
LOADENG = Engine load as a percentage of engine rated power

RPMPROP = Propulsor RPM
QPROP = Propulsor open water torque
QENG = Engine torque
PDPROP = Delivered power per propulsor
PSPROP = Shaft power per propulsor
PSTOTAL = Total vessel shaft power
PBTOTAL = Total vessel brake power
TRANSP = Transport factor

EFFO = Propulsor open-water efficiency
EFFG = Gear efficiency (load corrected)
EFFOA = Overall propulsion efficiency [=PETOTAL/PSTOTAL]
MERIT = Propulsor merit coefficient

THRPROP = Open-water thrust per propulsor
DELTHR = Total vessel delivered thrust

J = Propulsor advance coefficient
KT = Propulsor thrust coefficient [horizontal, if in oblique flow]
KQ = Propulsor torque coefficient
KT/J2 = Propulsor thrust loading ratio
KQ/J3 = Propulsor torque loading ratio
CTH = Horizontal component of bare-hull resistance coefficient
CP = Propulsor thrust loading coefficient
RNPROP = Propeller Reynolds number at 0.7R

SIGMAV = Cavitation number of propeller by vessel speed
SIGMAN = Cavitation number of propeller by RPM
SIGMA07R = Cavitation number of blade section at 0.7R
TIPSPEED = Propeller circumferential tip speed
MINBAR = Minimum expanded blade area ratio recommended by selected cavitation criteria
PRESS = Average propeller loading pressure
CAVAVG = Average predicted back cavitation percentage
CAVMAX = Peak predicted back cavitation percentage [if in oblique flow]
PITCHFC = Minimum recommended pitch to avoid face cavitation

+ = Design speed indicator
* = Exceeds recommended parameter limit
! = Exceeds recommended cavitation criteria [warning]
!! = Substantially exceeds recommended cavitation criteria [critical]
!!! = Thrust breakdown is indicated [severe]
--- = Insignificant or not applicable

Propulsion

19 nov 2020 09:08

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Analysis parameters

Hull-propulsor interaction		System analysis	
Technique:	[Calc] Prediction	Cavitation criteria:	Keller eqn
Prediction:	Holtrop	Analysis type:	Free run
Reference ship:		CPP method:	
Max prop diam:	3000,0 mm	Engine RPM:	
Corrections		Mass multiplier:	
Viscous scale corr:	[Off]	RPM constraint:	
Rudder location:		Limit [RPM/s]:	
Friction line:		Water properties	
Hull form factor:		Water type:	Salt
Corr allowance:		Density:	1026,00 kg/m3
Roughness [mm]:		Viscosity:	1,18920e-6 m2/s
Ducted prop corr:	[Off]		
Tunnel stern corr:	[Off]		

Prediction method check [Holtrop]

Parameters	FN [design]	CP	LWL/BWL	BWL/T
Value	0,21	0,68	6,47	4,00
Range	0,06--0,80	0,55--0,85	3,90--14,90	2,10--4,00

Prediction results [System]

	HULL-PROPULSOR				ENGINE			FUEL PER ENGINE	
SPEED [kt]	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBENG [kW]	LOADENG [% rated]	VOLRATE [L/h]	MASSRATE [t/h]
8,00	473,6	0,1589	0,1641	1,0079	108	405,3	10,7	---	---
9,00	665,0	0,1587	0,1641	1,0079	121	567,4	14,9	---	---
10,00	902,2	0,1586	0,1641	1,0079	134	768,0	20,2	---	---
11,00	1192,4	0,1584	0,1641	1,0079	147	1013,6	26,7	---	---
12,00	1544,7	0,1583	0,1641	1,0079	161	1312,6	34,5	---	---
13,00	1971,2	0,1581	0,1641	1,0079	174	1676,5	44,1	---	---
14,00	2487,1	0,1580	0,1641	1,0079	188	2120,1	55,8	---	---
15,00	3110,6	0,1579	0,1641	1,0079	203	2661,8	70,0	---	---
+ 16,00 +	3862,9	0,1578	0,1641	1,0079	218	3323,1	87,4	---	---
17,00	4774,3	0,1577	0,1641	1,0079	234	4135,7	108,8	---	---
	EFFICIENCY			THRUST					
SPEED [kt]	EFFO	EFFOA	MERIT	THRPROP [kN]	DELTHR [kN]				
8,00	0,6013	0,5842	0,53516	68,84	115,08				
9,00	0,6032	0,5860	0,53303	85,91	143,62				
10,00	0,6048	0,5873	0,53135	104,90	175,37				
11,00	0,6058	0,5882	0,53024	126,04	210,71				
12,00	0,6061	0,5884	0,52988	149,68	250,22				
13,00	0,6056	0,5879	0,53038	176,31	294,75				
14,00	0,6043	0,5865	0,53183	206,56	345,32				
15,00	0,6021	0,5843	0,53426	241,12	403,10				
+ 16,00 +	0,5990	0,5812	0,5376	280,73	469,31				
17,00	0,5949	0,5772	0,54193	326,55	545,91				
	POWER DELIVERY								
SPEED [kt]	RPMPROP [RPM]	QPROP [kN·m]	QENG [kN·m]	PDPROP [kW]	PSPROP [kW]	PSTOTAL [kW]	PBTOTAL [kW]	TRANSP	
8,00	108	34,98	34,98	393,2	405,3	810,7	810,7	742,0	
9,00	121	43,71	43,71	550,4	567,4	1134,8	1134,8	596,3	
10,00	134	53,42	53,42	745,0	768,0	1536,1	1536,1	489,5	
11,00	147	64,22	64,22	983,2	1013,6	2027,1	2027,1	408,0	
12,00	161	76,28	76,28	1273,2	1312,6	2625,1	2625,1	343,7	
13,00	174	89,83	89,83	1626,2	1676,5	3353,1	3353,1	291,5	
14,00	188	105,16	105,16	2056,5	2120,1	4240,3	4240,3	248,3	
15,00	203	122,59	122,59	2581,9	2661,8	5323,6	5323,6	211,9	
+ 16,00 +	218	142,47	142,47	3223,4	3323,1	6646,1	6646,1	181,0	
17,00	234	165,34	165,34	4011,6	4135,7	8271,4	8271,4	154,5	

Propulsion

19 nov 2020 09:08

HydroComp NavCad 2018

Project ID Cuaderno 6

Description Predicción de potencia

File name Crucero.hcnc

Prediction results [Propulsor]

CAVITATION									
SPEED [kt]	SIGMAV	SIGMAN	SIGMA07R	TIPSPEED [m/s]	MINBAR	PRESS [kPa]	CAVAVG [%]	CAVMAX [%]	PITCHFC [mm]
8,00	22,76	9,32	1,78	16,99	0,227	12,67	2,0	2,0	2503,0
9,00	17,97	7,42	1,41	19,04	0,269	15,81	2,0	2,0	2507,2
10,00	14,55	6,05	1,15	21,08	0,315	19,31	2,0	2,0	2510,5
11,00	12,02	5,02	0,96	23,15	0,367	23,20	2,0	2,0	2512,7
12,00	10,10	4,23	0,80	25,24	0,425	27,55	2,0	2,0	2513,4
13,00	8,60	3,59	0,68	27,37	0,491	32,45	2,5	2,5	2512,4
14,00	7,41	3,08	0,59	29,57	0,566	38,02	3,3	3,3	2509,6
15,00	6,46	2,65	0,51	31,84	0,651	44,38	4,4	4,4	2504,8
+ 16,00 +	5,67	2,30	0,44	34,21	0,749	51,67	5,9	5,9	2498,2
17,00	5,02	2,00	0,38	36,68	0,862	60,11 !	8,0	8,0	2489,5
PROPULSOR COEFS									
SPEED [kt]	J	KT	KQ	KT/J2	KQ/J3	CTH	CP	RNPROP	
8,00	0,6399	0,2548	0,04316	0,62218	0,16469	1,5844	2,6144	9,22e6	
9,00	0,6428	0,2533	0,04296	0,61324	0,16179	1,5616	2,5684	1,03e7	
10,00	0,6450	0,2522	0,04281	0,60628	0,15955	1,5439	2,5328	1,14e7	
11,00	0,6464	0,2515	0,04271	0,60178	0,15811	1,5324	2,5099	1,26e7	
12,00	0,6469	0,2512	0,04268	0,60029	0,15763	1,5286	2,5023	1,37e7	
13,00	0,6463	0,2516	0,04272	0,60233	0,15829	1,5338	2,5127	1,49e7	
14,00	0,6443	0,2525	0,04285	0,60828	0,1602	1,549	2,5431	1,60e7	
15,00	0,6411	0,2542	0,04307	0,61839	0,16346	1,5747	2,5948	1,73e7	
+ 16,00 +	0,6367	0,2564	0,04338	0,63263	0,16809	1,611	2,6683	1,85e7	
17,00	0,6309	0,2594	0,04378	0,65171	0,17435	1,6596	2,7677	1,99e7	

Report ID20201119-2108

HydroComp NavCad 2018 18.04.0073.0539.U1002

Hull data

General		Planing	
Configuration:	Monohull	Proj chine length:	0,000 m
Chine type:	Round/multiple	Proj bottom area:	0,000 m2
Length on WL:	155,200 m	LCG fwd TR:	[XCG/LP 0,000] 0,000 m
Max beam on WL:	[LWL/BWL 6,467] 24,000 m	VCG below WL:	0,000 m
Max molded draft:	[BWL/T 4,000] 6,000 m	Aft station (fwd TR):	0,000 m
Displacement:	[CB 0,650] 14904,40 t	Deadrise:	0,00 deg
Wetted surface:	[CS 2,623] 3938,930 m2	Chine beam:	0,000 m
ITTC-78 (CT)		Chine ht below WL:	0,000 m
LCB fwd TR:	[XCB/LWL 0,403] 62,610 m	Fwd station (fwd TR):	0,000 m
LCF fwd TR:	[XCF/LWL 0,380] 59,020 m	Deadrise:	0,00 deg
Max section area:	[CX 0,950] 136,800 m2	Chine beam:	0,000 m
Waterplane area:	[CWP 0,800] 2979,840 m2	Chine ht below WL:	0,000 m
Bulb section area:	11,860 m2	Propulsor type:	Propeller
Bulb ctr below WL:	2,120 m	Max prop diameter:	3000,0 mm
Bulb nose fwd TR:	156,928 m	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Imm transom area:	[ATR/AX 0,000] 0,000 m2	Position fwd TR:	0,000 m
Transom beam WL:	[BTR/BWL 0,000] 0,000 m	Position below WL:	0,000 m
Transom immersion:	[TTR/T 0,000] 0,000 m	Transom lift device:	Flap
Half entrance angle:	15,00 deg	Device count:	0
Bow shape factor:	[AVG flow] 0,0	Span:	0,000 m
Stern shape factor:	[WL flow] 1,0	Chord length:	0,000 m
		Deflection angle:	0,00 deg
		Tow point fwd TR:	0,000 m
		Tow point below WL:	0,000 m

Propulsor data

Propulsor		Propeller options	
Count:	2	Oblique angle corr:	Off
Propulsor type:	Propeller series	Shaft angle to WL:	0,00 deg
Propeller type:	FPP	Added rise of run:	0,00 deg
Propeller series:	B Series	Propeller cup:	0,0 mm
Propeller sizing:	By power	KTKQ corrections:	Standard
Reference prop:		Scale correction:	Full ITTC
Blade count:	6	KT multiplier:	1,000
Expanded area ratio:	0,7686 [Size]	KQ multiplier:	1,000
Propeller diameter:	3000,0 mm [Size]	Blade T/C [0.7R]:	Standard
Propeller mean pitch:	[P/D 1,0413] 3123,8 mm [Size]	Roughness:	Standard
Hub immersion:	4000,0 mm	Cav breakdown:	Off
Engine/gear		Design condition [By power]	
Drive line:	Direct drive	Max prop diam:	3000,0 mm
Gear input:	No gearbox	Design speed:	16,00 kt
Engine data:	Generic DC motor	Reference power:	3800,0 kW
Rated RPM:	300 RPM	Design point:	0,900
Rated power:	3800,0 kW	Reference RPM:	300,0 RPM
Primary fuel:	Defined	Design point:	1,000
Secondary fuel:	None	Shaft RPM:	219,6 RPM [Size]
Gear efficiency:	1,000		
Load correction:	Off		
Gear ratio:	1,000		
Shaft efficiency:	0,970		

Symbols and values

SPEED = Vessel speed

PETOTAL = Total vessel effective power
WFT = Taylor wake fraction coefficient
THD = Thrust deduction coefficient
EFFR = Relative-rotative efficiency

RPMENG = Engine RPM
PBENG = Brake power per engine
VOLRATE = Volumetric fuel rate total Primary
LOADENG = Engine load as a percentage of engine rated power

RPMPROP = Propulsor RPM
QPROP = Propulsor open water torque
QENG = Engine torque
PDPROP = Delivered power per propulsor
PSPROP = Shaft power per propulsor
PSTOTAL = Total vessel shaft power
PBTOTAL = Total vessel brake power
TRANSP = Transport factor

EFFO = Propulsor open-water efficiency
EFFG = Gear efficiency (load corrected)
EFFOA = Overall propulsion efficiency [=PETOTAL/PSTOTAL]
MERIT = Propulsor merit coefficient

THRPROP = Open-water thrust per propulsor
DELTHR = Total vessel delivered thrust

J = Propulsor advance coefficient
KT = Propulsor thrust coefficient [horizontal, if in oblique flow]
KQ = Propulsor torque coefficient
KT/J2 = Propulsor thrust loading ratio
KQ/J3 = Propulsor torque loading ratio
CTH = Horizontal component of bare-hull resistance coefficient
CP = Propulsor thrust loading coefficient
RNPROP = Propeller Reynolds number at 0.7R

SIGMAV = Cavitation number of propeller by vessel speed
SIGMAN = Cavitation number of propeller by RPM
SIGMA07R = Cavitation number of blade section at 0.7R
TIPSPEED = Propeller circumferential tip speed
MINBAR = Minimum expanded blade area ratio recommended by selected cavitation criteria
PRESS = Average propeller loading pressure
CAVAVG = Average predicted back cavitation percentage
CAVMAX = Peak predicted back cavitation percentage [if in oblique flow]
PITCHFC = Minimum recommended pitch to avoid face cavitation

+ = Design speed indicator
* = Exceeds recommended parameter limit
! = Exceeds recommended cavitation criteria [warning]
!! = Substantially exceeds recommended cavitation criteria [critical]
!!! = Thrust breakdown is indicated [severe]
--- = Insignificant or not applicable



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo VII

CUADERNO 7: DISPOSICIÓN GENERAL



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 Zonas verticales principales	5
4 Disposición General	6
4.1 Generalidades.....	6
4.2 Camarotes.....	7
4.3 Disposición por cubiertas	9
5 Vías de evacuación	14

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es definir la disposición general del buque proyecto a partir de las formas y características halladas previamente, así como del compartimentado llevado a cabo en el cuaderno 4.

La normativa de referencia empleada para la realización de la disposición general es la siguiente: SOLAS, MSC 1120, Convenio Internacional de Líneas de Carga y el Convenio Internacional sobre Trabajo Marítimo (MLC 2006).

Al tratarse de un buque cuyo fin es el transporte de pasajeros, la disposición general cobra una gran importancia debido a la necesidad de incorporar espacios amplios, cómodos y de ocio para satisfacer las necesidades del pasaje. A diferencia de otra tipología de buques en la que todas las personas a bordo son parte de la tripulación, en los buques cruceros es necesario delimitar los espacios de uso exclusivo del pasaje y de la tripulación.

3 ZONAS VERTICALES PRINCIPALES

El capítulo 2 del SOLAS establece que, en los buques de pasaje, es necesario la división del buque en Zonas Verticales Principales (MVZ, del inglés Main Vertical Zone). Estas zonas deben dividir al buque mediante mamparos estancos de clase “A-60” y deben estar en línea con los mamparos estancos principales para lo cual pueden tener una extensión máxima de 48 metros. Cada MVZ debe tener sistemas de ventilación independiente lo que derivará en la necesidad de un local de HVAC por cada MVZ. El mismo capítulo del SOLAS también establece los requisitos mínimos de medios de escape en cada zona: “Por encima de cubierta de compartimentado, cada MVZ debe tener por lo menos 2 medios de escape donde por lo menos uno de ellos debe dar acceso a un tronco de escaleras que forme un escape vertical”.

Por tanto, las MVZ deben cubrir todos aquellos espacios que contengan zona de habitación o zona de maquinaria salvo aquellos con poco o nulo riesgo de incendio. Como la eslora entre perpendiculares es de 145 m ($145/48=3$), es necesario que el buque disponga de al menos tres zonas de fuego. El extremo de proa del buque a partir del mamparo de colisión no será considerado como MVZ al no contener espacios de habitación o maquinaria con riesgo de incendio. Por tanto, las zonas verticales principales quedarán dispuestas de la siguiente manera:

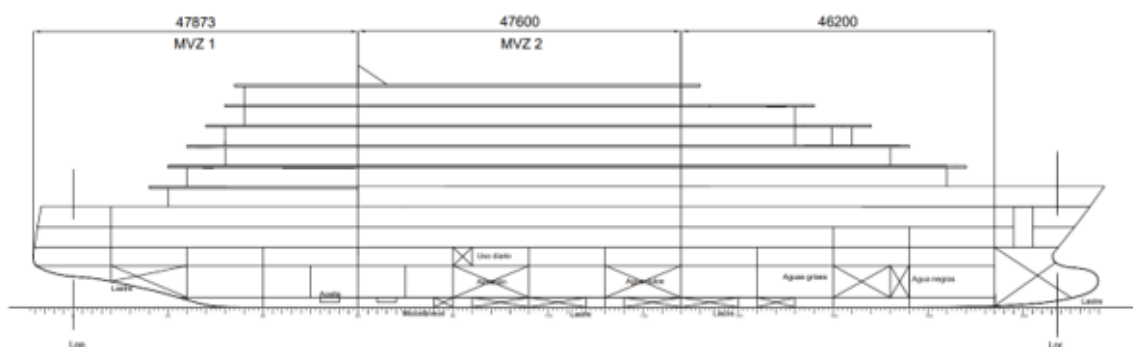


Figura 1: Zonas verticales principales

Zona 1: Del extremo de popa a la cuaderna 60 con una longitud de 47.873 metros

Zona 2: De la cuaderna 60 a la 128 con una longitud de 47.6 metros

Zona 3: De la cuaderna 128 a la 194 con una longitud de 46.2 metros

Además, al tratarse de un buque de pasaje con eslora superior a 120m y disponer de 3 MVZ hay que aplicar los criterios de Vuelta Segura a Puerto o Safe Return to Port por el cual, a pesar de fuego o inundación, los sistemas esenciales deben permanecer operativos y se debe proporcionar una “Safe Area” para las personas afectadas por el siniestro. Para cumplir con estos requisitos el buque deberá disponer de una cámara de máquinas (C.M.) dividida en 2 por mamparos de clase A, así como de redundancia en determinados equipos y sistemas y la existencia de una Safe Area. Como ya se ha mencionado, el SOLAS capítulo 2 también expone los medios de evacuación necesarios que debe cumplir el crucero.

4 DISPOSICIÓN GENERAL

El crucero debe disponer todos los espacios requeridos para habilitar al buque para el transporte y el alojamiento de pasajeros, teniendo en cuenta todas las exigencias de los convenios internacionales y de las sociedades de clasificación como los criterios básicos para la seguridad y el confort del pasaje.

Para ello se partió de las formas establecidas en el cuaderno 3, así como de la disposición esquemática del cuaderno 1 que disponía 10 cubiertas, una de ellas dedicada a los sistemas y equipos necesarios para la operabilidad del buque, una cubierta destinada a alojar a la tripulación y otros locales como por ejemplo la lavandería y finalmente cubiertas destinadas para el pasaje.

4.1 Generalidades

A la hora de realizar la distribución general del buque es necesario tener en cuenta una serie de factores que se exponen a continuación:

- Deben definirse accesos de forma que la tripulación puede llegar a todos sus puestos de trabajo sin circular por la zona dedicada al pasaje. Para esto se dispondrán ascensores o montacargas de uso exclusivo de la tripulación. Los troncos de escaleras cubrirán todas las cubiertas de habitación y se encontrarán cerca de ascensores. Los ascensores nunca se considerarán un medio de escape y las zonas de maquinaria no deben de ser accesibles para el pasaje.
- En un buque de tipo crucero tiene gran importancia los espacios dedicados al ocio, por ello se distribuirán diferentes locales o zonas de entretenimiento intentando ofrecer una amplia abanico posibilidades de ocio y entretenimiento como por ejemplo piscinas, gimnasio, restaurantes, bares, discotecas o salas de juegos. En todas las cubiertas de habitación existirá algún espacio dedicado al entretenimiento del pasaje.
- Debe reservarse un espacio para el diésel generador de emergencia que debe ir ubicado por encima de la cubierta de francobordo y lo más alejado posible de la cámara de máquinas. Además, debe de tener un acceso directo desde el exterior.
- Como ya se ha mencionado, se dispondrá de un local de aire acondicionado en cada zona de fuego.
- En la zona de proa y popa, fuera de la zona estanca del buque, deben ir ubicadas las estaciones de amarre y fondeo. Debajo de la estación de proa irá ubicada la caja de cadenas que será de forma cilíndrica y que se calculará en el Cuaderno 12. Además, deben de disponerse paños para el sistema.
- Deben disponerse en todas las cubiertas espacios de almacenamiento para los servicios de hotel y restauración y debe haber un montacargas que conecte de forma directa la lavandería y el pañol de lavandería con las cubiertas de habitación para que la ropa de cama, toallas... tanto limpia como sucia puedan ir directamente a la lavandería.
- La cocina debe situarse cerca de las gambuzas y todos los bares o restaurantes deben tener un acceso directo como por ejemplo mediante un montaplatos.
- Deben de disponerse de camarotes para la tripulación conforme al Convenio Internacional sobre Trabajo Marítimo (MLC 2006), así como espacios de descanso (salones, comedores...).
- Debe disponerse una zona de embarque y recepción para el acceso a bordo de los pasajeros y su atención nada más realicen su llegada.
- A popa debe reservarse espacio para los propulsores azimutales, así como para los equipos eléctricos. A proa irán instalados los propulsores tipo túnel y los estabilizadores cerca de la zona central.
- Cerca de la cámara de máquinas debe reservarse espacios para la maquinaria auxiliar. Además, en la cubierta 1, irán ubicados el resto de equipos del buque como puede ser el sistema contraincendios o el sistema de generación y distribución de agua sanitaria.

- Las aberturas en mamparos estancos deben cumplir con todos los requerimientos (estanqueidad, aislamiento, etc...) del mamparo. Las puertas estancas deben ser de tipo corredera. Las puertas abisagradas solo se pueden usar si están permanentemente cerradas en la mar. Además, en los mamparos que delimitan las cámaras de máquinas principales y auxiliares no pueden haber más de una puerta.
- En las cámaras de máquinas deben ir ubicadas cámaras de control, un para cada cámara con al menos dos medios de escape cada una. Las cámaras de control se ubicarán en la cubierta 2 con acceso directo desde el tronco de escaleras.
- Las escaleras deben disponerse de proa a popa y con una inclinación de 35° para el pasaje pudiendo alcanzar los 45° si son de uso exclusivo de la tripulación con rellanos de al menos 2 metros cuadrados.
- Las puertas deben abrarse en dirección hacia la ruta de escape y las exteriores tendrán las bisagras a proa.
- Los pasillos tendrán una anchura mínima de 0.9 metros.
- Como se indica en la RPA, deben disponerse 180 camarotes dobles, con al menos 80% de ellos exteriores. El diseño inicial se ha llevado a cabo siguiendo la tendencia de los buques crucero actuales en los cuales los camarotes tienden a ser todos estrechos y exteriores.
- Las cubiertas se han numerado, siguiendo la normativa, de 1 a 10 comenzando desde la cubierta inferior ubicada sobre el doble fondo en sentido ascendente
- Debe existir un hospital con un acceso rápido exterior por si es necesario evacuar a algún herido. Las vías de evacuación en un buque tipo crucero cobran gran importancia dado que una gran parte de los pasajeros a bordo son gente sin experiencia en el ámbito naval. Es por ello, que se le dedicará un apartado más adelante para verlo en más detalle.

4.2 Camarotes

En la disposición general del buque existirán diferentes tipos de camarotes. La primera clasificación que se hará será en función de que los camarotes sean utilizados por la tripulación o por el pasaje.

Los camarotes de la tripulación deben cumplir una serie de requisitos. En primer lugar, el tamaño de las camas debe ser al menos de 198x80 cm y no puede haber más de dos literas superpuestas. En buques de pasaje se dispone de las siguientes referencias para el tamaño de los camarotes de los marineros:

- 7,5 m² para dos personas
- 11,5 m² para tres personas
- 14,5 m² para cuatro personas
- Los camarotes de los oficiales tendrán al menos 10 m² y serán individuales.

En cada camarote debe existir un escritorio y un armario por persona de 475 litros y un cajón de 56 litros. Además, los camarotes del Capitán, el Jefe de Máquinas y el Primer Oficial contarán con un despacho contiguo.

Los camarotes de los marineros irán ubicados en la Cubierta 2, por encima de la línea de flotación, los de los oficiales en la cubierta 3 y el del Jefe de Máquinas y el Capitán en la Cubierta 8 junto al puente de gobierno.

Las 3 categorías de camarotes de la tripulación se muestran a continuación:

**Camarote
Marineros**



Camarote Oficiales



**Camarote Jefe de Máquinas,
Capitán y 1er Oficial**



Figura 2: Camarotes tripulación

Los tamaños estándar de los camarotes de la tripulación son los siguientes, aunque pueden variar ligeramente debido a que en algunas zonas deben adaptarse a las formas del casco.

Tabla 1: Tamaño camarotes tripulación

Camarote	Ancho	Largo	Área
Marineros	2,8	4,6	12,88
Oficiales	2,8	5,5	15,4
J.M., Capitán y 1er Oficial	5,6	8	44,8

Como se puede comprobar en la tabla, los camarotes cumplen los tamaños mínimos y con un amplio margen. Esto es con la finalidad de ofrecer a los tripulantes un espacio cómodo para trabajar y donde poder descansar.

Los camarotes del pasaje irán ubicados en las cubiertas superiores y también podrán dividirse en diferentes categorías. Existirán 3 categorías de camarotes para el pasaje:

- Camarote estándar, con o sin terraza, pero todos ellos exteriores. El camarotes dispone de una cama extragrande, un escritorio, un armario y muebles de descanso que en caso de disponer de balcón podrían ser exteriores y un baño privado con pileta para dos personas y bañera. Las puertas exteriores de los balcones serán todas de tipo corredera, aunque no estén representadas en el plano.

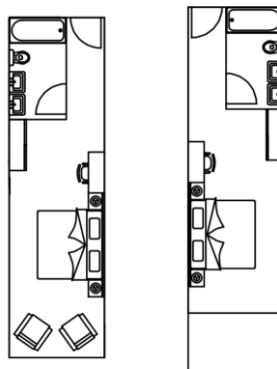


Figura 3: Camarotes estándar pasaje

- Camarote grande sin balcón, con balcón estándar o con balcón grande. Estos camarotes tienen un tamaño mayor que el camarote estándar y ofrece los mismos servicios además de una zona de sala de estar y ducha incluida en el baño.

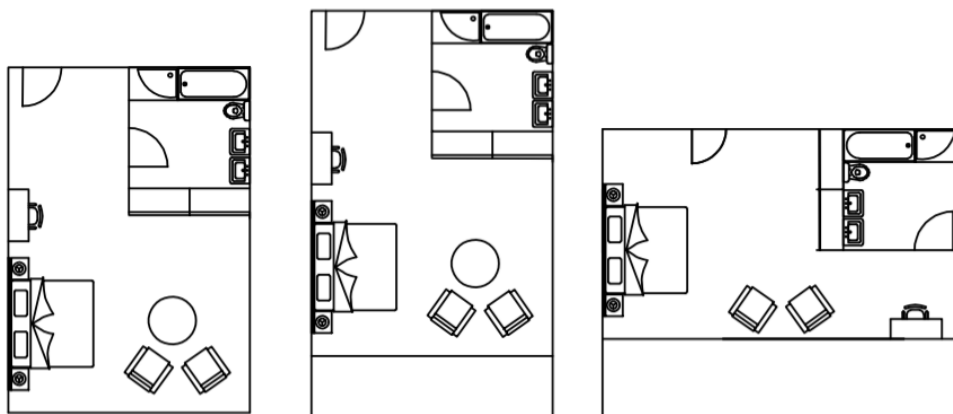


Figura 4: Camarotes grande pasaje

- Suites

Son los camarotes más exclusivos. Ofrecen sala de estar independiente de la habitación, vestidor y jacuzzi de uso privado.

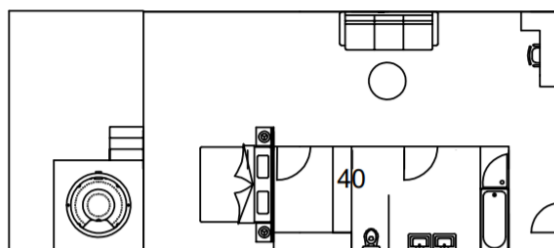


Figura 5: Camarote Suite tripulación

Los tamaños estándar de los camarotes del pasaje se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2: Tamaño camarotes pasaje

Camarote	Ancho	Largo	Área
Estándar	2,8	10	28
Grande	5,6	8	44,8
Suite	11,2	6,3	70,56

4.3 Disposición por cubiertas

Se dispuso la siguiente disposición:

- Cubierta 1

En la cubierta número 1 situada sobre el doble fondo se ubicó la cámara de máquinas, así como el resto de los locales para ubicar los sistemas necesarios para el correcto funcionamiento del buque (planta de agua sanitaria, sistemas contraincendios, tratamiento de residuos, locales de estabilizadores, ...). Esta cubierta es de uso exclusivo de la tripulación y cada espacio entre mamparos estancos dispone de unas escaleras para acceder a la cubierta

superior y un medio de escape a través de mamparos estancos. Como ya se ha mencionado previamente, la cámara de máquinas se encuentra dividida en dos para tener un mayor grado de redundancia. Las dos cámaras de máquinas se encuentran en dos zonas verticales principales diferentes por lo que están separadas por mamparos de clase A y hay una puerta estanca que las une. Esta puerta será de tipo corredera y será la única abertura ubicada en el mamparo estanco. La normativa permite que el local del propulsor de proa solo disponga de un único acceso dado que es un espacio al que solo se entra ocasionalmente con tal de que el medio de escape sea independiente de puertas estancas y con un ancho no inferior a 800 mm y con pasamanos a ambos lados.

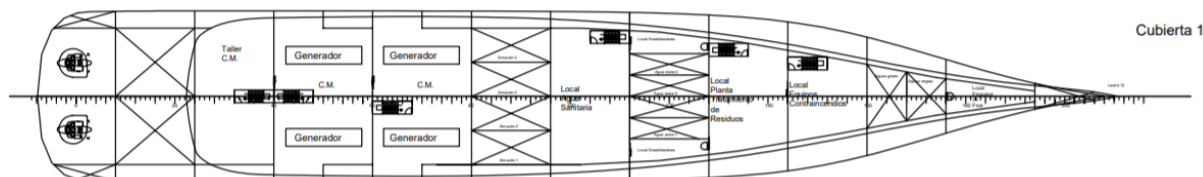


Figura 6: Cubierta 1

- Cubierta 2

En la siguiente cubierta, también de uso exclusivo de la tripulación, se ubican los camarotes de la tripulación, la sala de estar y la lavandería. Así como, la parte superior de la C.M. y un local para los equipos eléctricos a popa, para sistemas auxiliares y el local de aire acondicionado de la zona vertical principal de popa. En esta cubierta también se ubicarán las cámaras de control y la cámara de máquinas de popa donde se encuentran los motores de propulsión. Las dos primeras cubiertas se encuentran por debajo de la cubierta de compartimentado, por lo que las puertas entre mamparos estancos deben de ser de tipo corredera. Para poder alojar a los 90 tripulantes, se disponen en esta cubierta de 42 camarotes, los restantes dormirán en camarotes ubicados en cubiertas superiores destinados a los oficiales, el primer oficial, el jefe de máquinas y el capitán. La lavandería constará con un pañol para poder guardar la ropa limpia y tendrá un montacargas de uso exclusivo de la tripulación que la conectará con las cubiertas de habilitación. Cada espacio entre mamparos estancos dispondrá de al menos dos medios de escape uno de ellos independiente de puertas estancas.

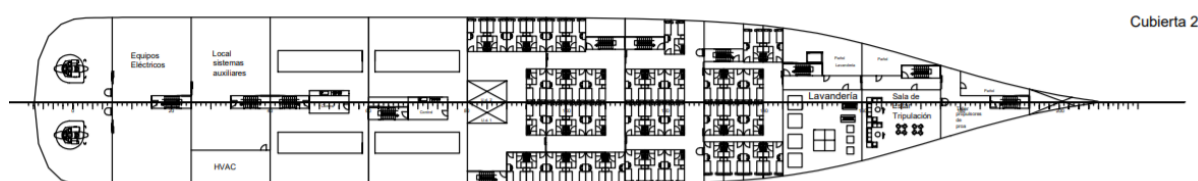


Figura 7: Cubierta 2

- Cubierta 3

En la siguiente cubierta (C3 o Cubierta Principal) a partir de la cuaderna 60 ya está reservada para el uso del pasaje. En la zona de popa se encuentra una zona de uso exclusivo de la tripulación donde se halla la cocina, las gambuzas de alimentos y los comedores. A proa se ubica el hospital con dos baños de uso exclusivo para este fin y la zona de oficiales con 8 camarotes. El acceso desde el exterior al hospital con una camilla o viceversa se lleva a cabo a través de los ascensores de la zona de proa. En este tipo de buques los espacios de las cubiertas superiores son los más valiosos y es por ello, por lo que el hospital se sitúa en las cubiertas inferiores, aunque su acceso resultaría más sencillo si estuviese colocado en las cubiertas con acceso exterior directo. Sin embargo, con los ascensores la tarea de acceder al hospital desde el exterior con camilla se simplifica. Por tanto, los ascensores, al menos uno de ellos debe de ser del tamaño suficiente para poder transportar una camilla de hospital.

Como se puede observar en la imagen inferior, los camarotes de los marineros y oficiales están divididos y deben de tener al menos capacidad para 1/3 de los trabajadores. En la zona de pasaje se encuentra una tienda y una sala de juegos, así como 16 camarotes de tamaño estándar.

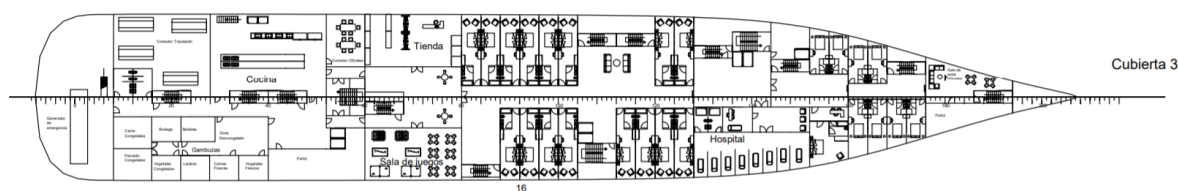


Figura 8: Cubierta 3

- Cubierta 4

En la cubierta 4 se encuentra el restaurante tipo buffet a donde las bandejas acceden a través de dos montaplatos desde la cocina, la recepción con dos medios de acceso a cada costado y un total de 39 camarotes. Para dimensionar el restaurante se supuso la realización de tres turnos de comida, por lo que la capacidad total debe de ser al menos de 120 personas. Cada cubierta dispone de los pañoles necesarios para el almacenamiento de herramientas, ropa de cama, limpieza, etc. En esta cubierta también se encontrará la estación de amarre de popa y el local de aire acondicionado de la zona vertical principal de proa así como un pañol.

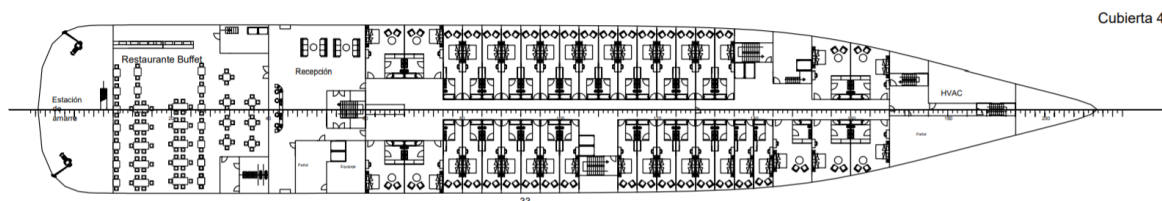


Figura 9: Cubierta 4

- Cubierta 5

La cubierta 5 dispone de 44 camarotes, así como una zona de bar y piscina. A proa se encontrará la estación de amarre y fondeo y pañoles para almacenar los equipos propios el sistema. En esta cubierta se disponen los medios de evacuación (botes salvavidas) como se puede apreciar en la imagen. Para poder alcanzar esta cubierta de forma sencilla se disponen escaleras exteriores. A partir de la cubierta 5 se encuentran el resto de los camarotes y zonas de ocio que incluyen piscinas, gimnasio, spa, bares, restaurante y discoteca o sala de conciertos (que cuenta con una altura de dos pisos).

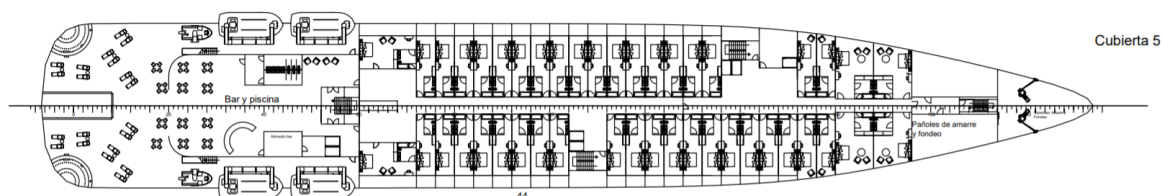


Figura 10: Cubierta 5

- Cubierta 6

En la cubierta 6 se encuentra otro restaurante de menor tamaño que ofrece servicio en mesa y con una pequeña cocina para darle servicio. Además de 25 camarotes de tamaño grande.

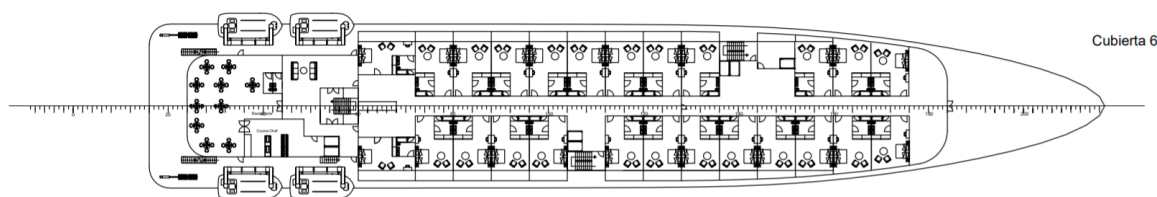


Figura 11: Cubierta 6

- Cubierta 7

En esta cubierta se puede acceder a otra zona de bar y piscina con sus correspondientes aseos y una zona reservada para música en directo o DJ, además de 21 camarotes de tamaño grande y 2 Suites.

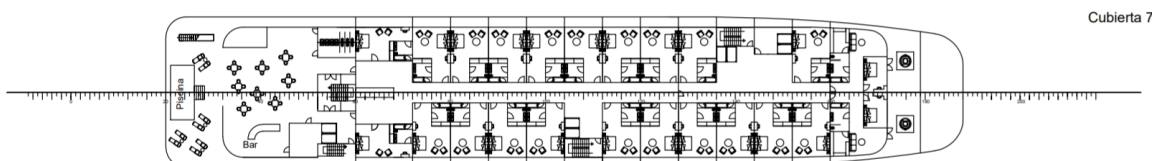


Figura 12: Cubierta 7

- Cubierta 8

Se disponen 18 camarotes grandes y 3 Suites. A proa se encuentra el puente con acceso directo para la tripulación desde la cubierta de tripulación y con aseos en su proximidad. También a su lado se encuentran los camarotes del capitán y del jefe de máquinas. El diseño del puente de gobierno se realizó conforme a las indicaciones del SOLAS. No existen obstáculos para la visión frontal y desde los alerones el costado del buque es plenamente visible.

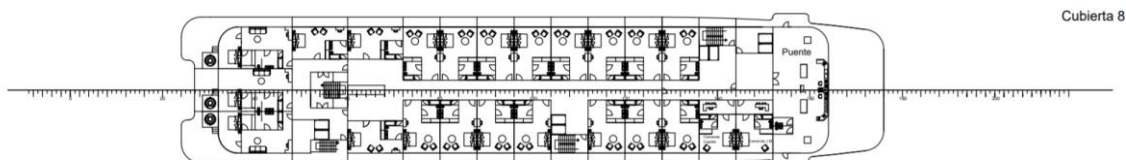


Figura 13: Cubierta 8

-Cubierta 9

En la cubierta 9 se encuentra la discoteca cuyo uso también puede servir como sala de conciertos y se diferencia del resto de espacios por disponer de una altura de dos cubiertas, por lo que también abarca parte de la cubierta 10. En esta cubierta están distribuidos 18 camarotes y una zona de terraza y jacuzzi con un acceso desde la cubierta superior.

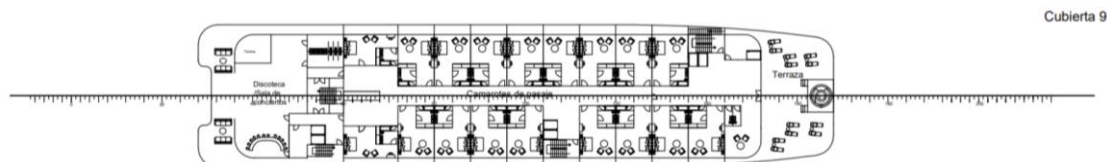


Figura 14: Cubierta 9

- Cubierta 10

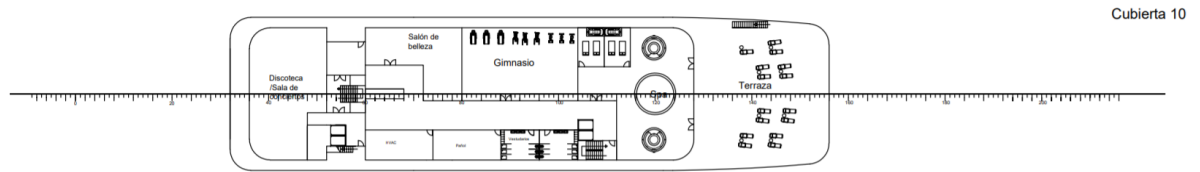


Figura 15: Cubierta 10

Finalmente, en esta cubierta además de la discoteca se dispone el spa y el gimnasio junto con una terraza.

A la hora de llevar a cabo la disposición general se tuvo en cuenta que la tripulación pudiese acceder a todas sus zonas de trabajo sin necesidad de pasar por zonas de pasaje. Esto, también se hace patente en el uso de las escaleras. El pasaje puede utilizar los tres troncos de escaleras principales, todos ellos ubicados próximos a ascensores, mientras que el servicio debe hacer uso de los ascensores dispuestos especialmente para ellos. Estos ascensores de la tripulación han sido ubicados de forma que permiten llevar la ropa de cama y toallas directamente desde la lavandería a todas las cubiertas, exceptuando a la cubierta número 10 y otros ascensores ubicados a popa destinados a llevar provisiones a los bares, restaurantes u otras zonas de ocio, así como a la cubierta superior. El acceso al puente también se hace mediante el ascensor ubicado a proa. También se ha tenido en cuenta que todos los pasillos tengan un ancho lo suficiente como para asegurar un flujo de personas seguro y continuo, y ningún pasillo tiene una anchura inferior a 900mm.

En la siguiente imagen se muestra la cubierta 6 en la cual se han coloreado en verde los troncos de escaleras verticales y las escaleras exteriores de uso destinado al pasaje. En rojo se encuentran los ascensores de uso exclusivo de la tripulación:

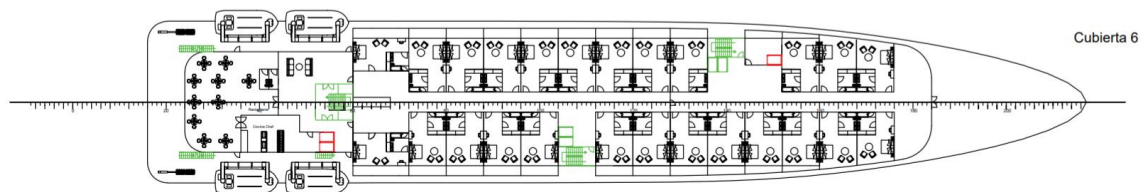


Figura 16: Escaleras

5 VÍAS DE EVACUACIÓN

Las vías de evacuación de los buques de pasaje cobran una gran importancia y supondrán uno de los principales condicionantes de la disposición general.

Como se mencionó al comienzo de este cuaderno, el SOLAS proporciona los requisitos que ha de cumplir el crucero en materia de seguridad y evacuación para garantizar que en una situación de peligro todas las personas a bordo son capaces de ponerse a salvo accediendo a las cubiertas superiores y a los botes o balsas salvavidas. Necesitando cada espacio entre mamparos estancos al menos dos medios o vías de evacuación separadas que conduzcan a troncos de escaleras, uno de los cuales ha de ser independiente de mamparos estancos. Para llevar a cabo esto, se dispusieron 3 troncos verticales de cubierta, uno en cada MVZ y por debajo de la cubierta de cierre cada espacio entre mamparos estancos dispone de un medio de evacuación vertical a cubiertas superiores.

Los pasajeros deberán desplazarse hasta la cubierta de botes o hacia las cubiertas superiores a través de los troncos de escaleras o de las escaleras adicionales destinadas a tal fin. En caso de producirse una emergencia, la tripulación empleará las mismas vías de evacuación que el pasaje, aunque en operación de servicio normal estos troncos principales estén destinados de uso exclusivo de los clientes.

Otro aspecto a tener en cuenta es la evacuación de un herido desde el hospital. La evacuación, planteada para una condición normal de navegación, se llevará a cabo mediante los ascensores situados en la zona vertical principal de proa que tendrán el tamaño suficiente para poder transportar una camilla.

Las rutas de evacuación, por tanto, deben disponerse a lo largo de todo el buque, de forma que se garantice que pese a una situación de emergencia tanto el pasaje como la tripulación puede ser capaz de alcanzar la cubierta 5 o cubierta de botes. A continuación, se muestran las vías de evacuación del crucero en caso de emergencia mediante flechas en color rojo. Además, la vía de evacuación de un herido desde el hospital también está indicada en color azul.

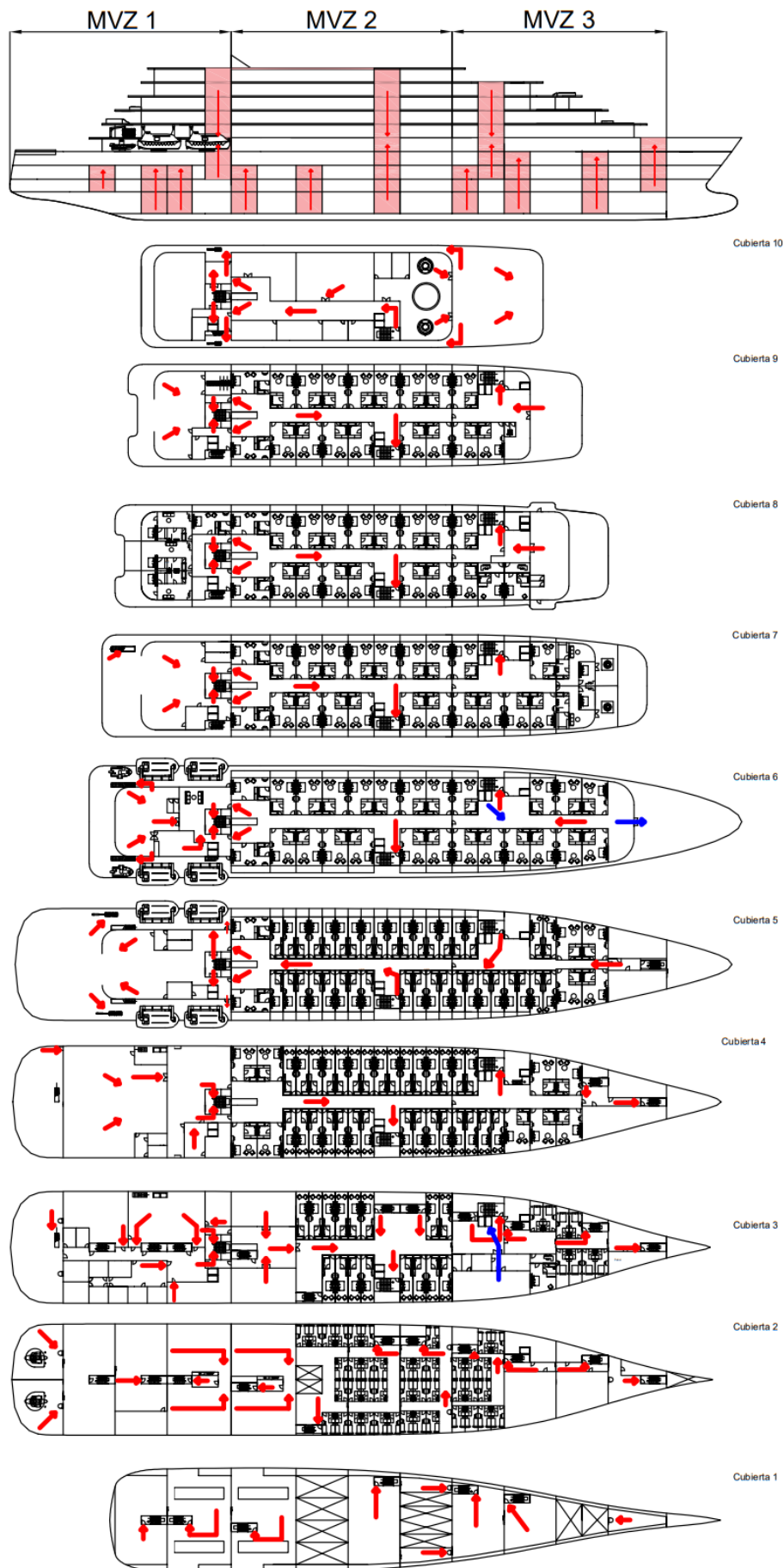


Figura 17: Vías de evacuación



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo VIII

CUADERNO 8: CUADERNA MAESTRA



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 Definición de los parámetros	5
4 Cuaderna maestra.....	7
5 Escantillonado de los elementos	9
5.1 Chapa	9
5.1.1 Espesor mínimo	9
5.1.1.1 Chapa de fondo	9
5.1.1.2 Traca de pantoque.....	10
5.1.1.3 Quilla	10
5.1.1.4 Chapa de doble fondo.....	10
5.1.1.5 Chapa de costado.....	10
5.1.1.6 Chapa de cubierta.....	11
5.1.1.7 Chapa de mamparo	12
5.1.2 Espesor en función de las presiones.....	13
5.1.2.1 Chapa de fondo	21
5.1.2.2 Chapa de costado.....	41
5.1.2.3 Chapa de cubierta.....	46
5.1.2.4 Chapa de mamparo	50
5.1.2.5 Resumen espesores chapas.....	54
5.2 Refuerzos longitudinales	56
5.2.1 Longitudinales de fondo	56
5.2.2 Longitudinales de doble fondo	63
5.2.3 Longitudinales costado	68
5.2.4 Longitudinales de cubierta	71
5.2.5 Longitudinales de mamparo	74
5.2.6 Vagras	77
5.2.7 Resumen refuerzos longitudinales	79
5.3 Refuerzos transversales.....	80
5.3.1 Baos.....	80
5.3.2 Varengas	83
5.3.3 Bulárcamas	85
6 Comprobación del módulo mínimo	90
Anexo VIII.I: Catálogo perfiles llanta de bulbo	92
Anexo VIII.II: Cálculo del módulo de la sección	93

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es el diseño y escantillonado de la cuaderna maestra del buque proyecto con el fin de asegurar que cumple los requisitos mínimos de resistencia longitudinal establecidos en el reglamento de la sociedad de clasificación, el DNV.

Por tanto, el resultado final de este cuaderno consistirá en el diseño de la cuaderna maestra en el que se incluirán los refuerzos y las planchas necesarios para las diferentes partes que la componen.

Partiremos de los datos conocidos hasta el momento:

Tabla 1: Resumen características buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos

3 DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS

Para poder llevar a cabo en escantillonado del buque siguiendo el reglamento del DNV es necesario, en primer lugar, hallar el valor de los parámetros que emplearemos en las expresiones posteriores. Las definiciones de estos parámetros vienen expuestas en Pt. 3, Ch. 1, Sc. 4.

- T , calado

Calado en metros correspondiente a la línea de carga de verano desde la línea base en el centro del barco. Por tanto, tomaremos

$$T = 6.00 \text{ m}$$

- T_{ES} , calado de escantillonado

Calado en metros para la condición de máxima carga para el cual se cumplen los requisitos de escantillonado. Es decir, supondremos que cabe la posibilidad de que el buque, a lo largo de su explotación, pueda transportar una carga distinta y más pesada que para la cual fue diseñado, de modo que el buque calará más y tendrá que ser lo suficientemente resistente para soportarlo. Tomaremos:

$$T_{ES} = 6.50 \text{ m}$$

- L , eslora reglamentaria

El reglamento establece que, para buques con propulsión azimutal, la eslora debe ser tomada igual al 97% de la eslora total medida en la flotación correspondiente al calado de escantillonado. Es decir:

$$L = 0.97 * 150.608 * 0.97 = 146.09 \text{ m}$$

- B , manga de trazado

Se corresponde con la manga máxima de trazado en metros medida en el centro del barco a la altura del calado de escantillonado.

$$B = 24.00 \text{ m}$$

- D , puntal de trazado

Es la distancia vertical medida en m en el centro el barco desde la línea base hasta la cubierta continua más alta en el costado del buque.

$$D = 8.80 \text{ m}$$

Tabla 2: Tabla de Hidrostáticas para Tesc

Draft Amidships (m)	6,5
Displacement t	16075
Heel deg	0
Draft at FP m	6,5
Draft at AP m	6,5
Draft at LCF m	6,5
Trim (+ve by stern) m	0
WL Length m	150,608
Beam max extents on WL m	24,005
Wetted Area m ²	4207,2
Waterpl. Area m ²	2965,508
Prismatic coeff. (Cp)	0,7

Block coeff. (Cb)	0,667
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,953
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,82
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	63,217
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	58,407
KB m	3,629
KG m	6
BMt m	7,996
BML m	261,847
GMt m	5,625
GML m	259,476
KMt m	11,625
KML m	265,476
Immersion (TPc) tonne/cm	30,396
MTc tonne.m	287,661
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1578,075

- Coeficiente de bloque (Cb)

La norma lo define mediante la siguiente expresión:

$$C_B = \frac{\Delta}{1.025LBT_{SC}} = \frac{16075}{1.025 * 146.09 * 24 * 6.5} = 0.688$$

Δ = desplazamiento del buque en toneladas correspondiente a T_{SC}

4 CUADERNA MAESTRA

La cuaderna maestra es la cuaderna de la zona media del buque que representa las formas más llenas de este, en la mayoría de los casos coincide con la sección media del buque. En este caso tomaremos como cuaderna maestra la cuaderna número 88 que se encuentra a 61.6 metros de la perpendicular de popa.

En los buques existen dos tipos de estructuras. La primera de ellas consiste en la estructura de tipo longitudinal que se caracteriza por la predominancia de los refuerzos en sentido longitudinal (esloras, palmejares o vagras) reforzados transversalmente. El segundo tipo se corresponde con la estructura de tipo transversal en la cual predominan los refuerzos transversales (cuadernas, varengas) y están reforzados por elementos longitudinales. Es habitual hacer una combinación de los dos tipos de estructura (estructura mixta) en función de las necesidades del buque.

A continuación, se detalla el tipo de estructura seleccionado.

- Fondo y Doblo Fondo

Debido a que nuestro buque tiene una eslora superior a 120 m dispondremos de una estructura de tipo longitudinal para hacer frente a los esfuerzos de flexión que tienden a parecer en las embarcaciones de estas dimensiones y contribuye a minimizar el peso del acero. Por tanto, los refuerzos predominantes serán las vagras que estarán reforzadas por varengas situadas cada cuatro claras de cuadernas, es decir cada 2800mm coincidiendo con los refuerzos principales de costado o bulárcamas; salvo en las zonas de cámara de máquinas que estarán separadas solo dos claras de cuadernas (1400mm) debido a que estas zonas sufren mayores esfuerzos. Las varengas serán estancas cuando coincidan con mamparos estancos y aligeradas cuando no.

Además, las planchas de fondo y doble fondo se reforzarán con longitudinales.

Como se ha mencionado en cuadernos anteriores nuestro doble fondo tendrá una altura de 1.4 metros.

- Costados

Dispondremos de una estructura de tipo longitudinal al igual que el resto del buque, las bulárcamas que conforman los refuerzos primarios irán colocados cada 4 claras de cuadernas (2800mm), salvo por las zonas de cámara de máquinas que irán situadas cada 2 claras de cuadernas, es decir, cada 1400 mm.

- Cubiertas

Las cubiertas tendrán una estructura de tipo longitudinal, lo que ofrece un comportamiento adecuado frente a la flexión del buque viga. Por otro lado, este tipo de estructura facilita el tendido del cableado eléctrico, las tuberías y los conductos de HVAC. Por tanto, la estructura secundaria estará formada por las esloras que se verán reforzadas transversalmente por los baos que conforman la estructura primaria.

Tabla 3: Tipo de estructura elementos

Elemento	Tipo de estructura
Fondo y doble fondo	Longitudinal
Costado	Longitudinal
Cubierta	Longitudinal

Los refuerzos primarios serán de tipo T, mientras que los refuerzos secundarios serán de tipo llanta de bulbo que son los más usados para este tipo de refuerzos en la construcción naval.

Las separaciones entre refuerzos longitudinales se han seleccionado siguiendo una cuaderna maestra de un buque de características similares:

- Espaciado de los refuerzos longitudinales de la cubierta, el fondo y el doble fondo: 580mm
- Espaciado de los refuerzos longitudinales del casco hasta la cubierta principal: 450 mm
- Espaciado de los refuerzos longitudinales del casco a partir de la cubierta principal: 550 mm
- Espaciado de los refuerzos longitudinales en los mamparos longitudinales: 450 o 550 mm.

El material para el que se dimensionó la estructura es acero naval de clase A con las siguientes propiedades:

Tabla 4: Características material

Características	Símbolo	Valor	Unidad
Límite elástico	σ	235	N/mm ²
Módulo de Young	E	206000	N/mm ²
Módulo de Poisson	ν	0,3	
Factor de acero (DNVGL-RU-SHIP Pt. 3 Ch 3)	K	1	

5 ESCANTILLONADO DE LOS ELEMENTOS

Se llevará a cabo el escantillonado de una plancha del fondo, del doble fondo, de una cubierta, del costado y de un mamparo. Para ello se seguirá el reglamento de la sociedad de clasificación DNVGL-RU-SHIP Pt. 3 Ch. 6 Sc. 3

5.1 Chapa

5.1.1 Espesor mínimo

La chapa nunca debe tener un espesor menor al aportado por la siguiente fórmula:

$$t = a + bL_2\sqrt{K}$$

Donde, los coeficientes a y b se extraen de la siguiente tabla:

Table 1 Minimum net thickness for plating

Element	Location	a	b
Shell	Keel	5.0	0.05
	Bottom and bilge	4.5	0.035
	Side shell and superstructure side	4.0	0.035
			0.025
			0.015
			0.01
	Sea chest boundaries	4.5	0.05
Deck	Weather deck ^{1),2),3),4)} and strength deck ^{2),3)}	4.5	0.02
	Boundary for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk		0.015
	Other decks ^{3),4),5)}		0.01
Inner bottom	Cargo spaces loaded through cargo hatches except container holds	5.5	0.025
	Other spaces	4.5	0.02
Bulkheads	Bulkheads for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk	4.5	0.015
	Peak bulkheads		0.01
	Watertight bulkheads and other tanks bulkheads		0.005
	Non-tight bulkheads in tanks	5.0	0
	Other non-tight bulkheads		0
	Walls in accommodation	4.5	0

L_2 está definida en el reglamento como la eslora de reglamentación, sin ser nunca superior a 300 m. Es decir, $L_2 = 146.09 \text{ m}$ y k es el factor del material visto en el apartado anterior con valor igual a 1.

5.1.1.1 Chapa de fondo

$$a = 4.5$$

$$b = 0.035$$

$$K = 1$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$t = 4.5 + 0.035 * 146.09 * \sqrt{1} = 9.70 \text{ m}$$

5.1.1.2 Traca de pantoque

$$a = 4.5$$

$$b = 0.035$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4.5 + 0.035 * 146.09 * \sqrt{1} = 9.70 \text{ mm}$$

5.1.1.3 Quilla

$$a = 5$$

$$b = 0.05$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 5 + 0.05 * 146.09 * \sqrt{1} = 12.40 \text{ mm}$$

5.1.1.4 Chapa de doble fondo

Como se ha visto en cuadernos anteriores, el buque debe de tener un doble fondo con una altura mínima de 1,2 metros. Sin embargo, se ha optado por disponerlo a una altura de 1.4 metros.

$$a = 4.5$$

$$b = 0.02$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4.5 + 0.02 * 146.09 * \sqrt{1} = 7.50 \text{ mm}$$

5.1.1.5 Chapa de costado

El espesor mínimo de la chapa del casco dependerá del puntal al que se encuentre.

Para un puntal entre la quilla y 11.1 metros:

$$a = 4$$

$$b = 0.035$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4 + 0.035 * 146.09 * \sqrt{1} = 9.20 \text{ mm}$$

Para un puntal entre 11.1 y 13.4 metros:

$$a = 4$$

$$b = 0.025$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4 + 0.025 * 146.09 * \sqrt{1} = 7.70 \text{ mm}$$

Para un puntal entre 13.4 y 15.7 metros:

$$a = 4$$

$$b = 0.015$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4 + 0.015 * 146.09 * \sqrt{1} = 6.20 \text{ mm}$$

Por encima de 15.7 metros:

$$a = 4$$

$$b = 0.01$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4 + 0.01 * 146.09 * \sqrt{1} = 5.50 \text{ mm}$$

5.1.1.6 Chapa de cubierta

El espesor de las chapas de cubierta dependerá de donde se encuentre esa cubierta y que función desempeñe.

Deck	Weather deck ^{1),2),3),4)} and strength deck ^{2),3)}	4.5	0.02
	Boundary for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk		0.015
	Other decks ^{3),4),5)}		0.01

Element	Location	a	b
1) For weather deck forward of 0.2 L from F.E, b shall not be taken less than 0.01. 2) For two continuous decks arranged above 0.7 D from baseline, b may be reduced by 0.01. 3) For more than two continuous decks arranged above 0.7 D from baseline, b may be taken equal to 0. 4) For the decks not contributing to hull girder longitudinal strength, b may be taken equal to 0. 5) For decks sheltered with wood, synthetic resin or similar, a may be taken equal to 4.0. 6) For superstructure side in ships with two or more continuous decks arranged above 0.7 D from baseline, b may be taken equal to 0 from 1.7 C _w m above WL at scantling draft.			

Para realizar el escantillonado tomaremos la cubierta principal que es nuestra cubierta de compartimentado y que se encuentra a una altura de 8.8 metros sobre la línea base.

$$a = 4.5$$

$$b = 0.02$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4.5 + 0.02 * 146.09 * \sqrt{1} = 7.50 \text{ mm}$$

En este caso tenemos que comprobar si se cumple el criterio del punto 2) que expone que para dos cubiertas continuas situadas sobre $0.7 \cdot D$ sobre la línea base el coeficiente b puede reducirse a 0.1. Como la cubierta 2 está a 6.1 metros sobre la línea base y $0.7 \cdot D = 0.7 \cdot 8.8 = 6.16$ metros, el coeficiente b no puede reducirse a 0.1:

$$t = 4.5 + 0.02 * 146.09 * \sqrt{1} = 7.4 \text{ mm}$$

La cubierta 2, al igual que la cubierta de doble fondo separan tanques de agua y combustible por lo que el espesor mínimo de la chapa sería:

$$a = 4.5$$

$$b = 0.015$$

$$L_2 = 146.09 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4.5 + 0.015 * 146.94 * \sqrt{1} = 6.70 \text{ mm}$$

Las cubiertas sobre la cubierta principal no aportan resistencia longitudinal, además al tratarse de cubiertas de acomodación de pasajeros estarán recubiertas y por tanto su espesor mínimo es:

$$a = 4$$

$$b = 0$$

$$L_2 = 146.94 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4 + 0 * 146.09 * \sqrt{1} = 4 \text{ mm}$$

5.1.1.7 Chapa de mamparo

Las chapas de los mamparos, al igual que las cubiertas, tendrán diferentes espesores en función de donde estén situados.

Bulkheads	Bulkheads for cargo tanks, water ballast tanks and hold intended for cargo in bulk	4.5	0.015
	Peak bulkheads		
	Watertight bulkheads and other tanks bulkheads		0.01
	Non-tight bulkheads in tanks	5.0	0.005
	Other non-tight bulkheads		0
	Walls in accommodation	4.5	0

Las chapas que separen los tanques de agua de lastre situados en el doble fondo y los mamparos que separen tanques tendrán un espesor mínimo de:

$$a = 4.5$$

$$b = 0.015$$

$$L_2 = 146.09 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4.5 + 0.015 * 146.94 * \sqrt{1} = 6.70 \text{ mm}$$

El resto del mamparo hasta la cubierta principal tendrá un espesor de:

$$a = 4.5$$

$$b = 0.01$$

$$L_2 = 146.09 \text{ m}$$

$$K = 1$$

$$t = 4.5 + 0.01 * 146.09 * \sqrt{1} = 6 \text{ mm}$$

Y de la cubierta principal para arriba se tratan de mamparos que separan zonas de acomodación y por tanto tendrán un espesor mínimo de 4.5mm.

Se muestran los espesores mínimos resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 5: Resumen espesores mínimos chapas

Elemento	a	b	L	k	Espesores mínimos
Chapa de fondo	4,5	0,035	146,09	1	9,70
Traca de pantoque	4,5	0,035	146,09	1	9,70
Quilla	5	0,05	146,09	1	12,40
Chapa de doble fondo	4,5	0,02	146,09	1	7,50
Chapa de costado hasta 11.1	4	0,035	146,09	1	9,20
Chapa de costado entre 11.1 y 13,4	4	0,025	146,09	1	7,70
Chapa de costado entre 13,4 y 15,7	4	0,015	146,09	1	6,20
Chapa de costado por encima de 15,7	4	0,01	146,09	1	5,50
Cubiertas hasta cubierta principal	4,5	0,02	146,09	1	7,40
Cubierta separación tanques	4,5	0,015	146,09	1	6,70
Cubiertas habilitación	4	0	146,09	1	4,00
Mamparo tanques	4,5	0,015	146,09	1	6,70
Otros mamparos hasta cub. Principal	4,5	0,01	146,09	1	6,00
Otros mamparos habilitación	4,5	0	146,09	1	4,50

5.1.2 Espesor en función de las presiones

El reglamento también establece el espesor de las chapas en función de las presiones a las que se ve sometida cada una de ellas y expone la siguiente formula en Pt.3 Ch.6 Sec. 4:

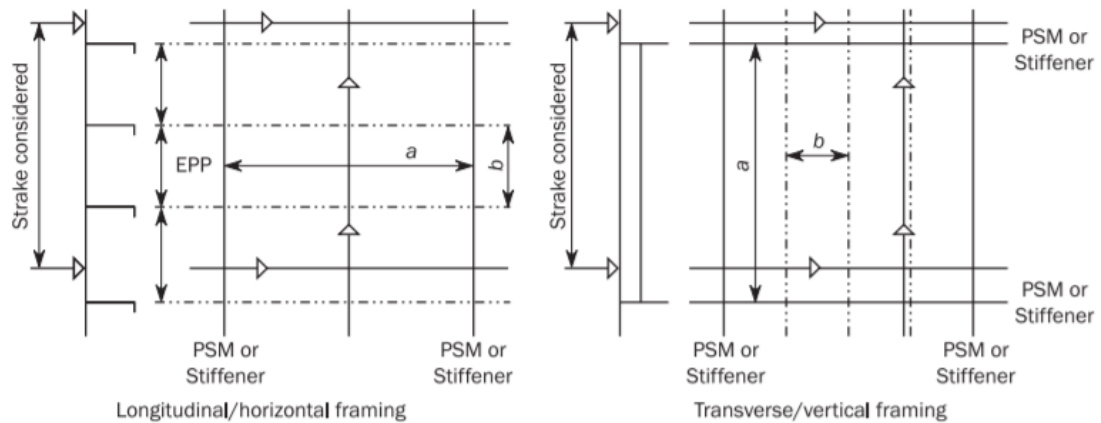
$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde,

α_p es el factor de corrección por el radio de aspecto de la chapa que toma el valor resultante de la siguiente fórmula, pero nunca mayor a 1:

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}$$

a es el largo de la chapa y b es el ancho de la chapa en mm calculados siguiendo el Ch. 3 Sec. 7 del reglamento.



C_a es el coeficiente de tensión de flexión permisible de la placa y nunca debe ser superior a C_{a-max} :

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

Este coeficiente nunca debe de tomar un valor superior a C_{a-max} . β_a , α_a y C_{a-max} son coeficientes tabulados.

Acceptance criteria	Structural member		β_a	α_a	C_{a-max}
AC-I	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	0.90	0.50	0.80
		Transverse stiffened plating	0.90	1.00	0.80
	Other members		0.80	0.00	0.80
AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95
AC-III	Longitudinal bulkhead members including possible bench structures between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.5	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.0	1.15
	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.00	1.15
	Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15

1) Only applicable for flooding pressure

1) Only applicable for flooding pressure

R_{eH} es el límite elástico del material que tomaremos como $235 \frac{N}{mm^2}$

Las presiones vienen definidas en la tabla del DNV-GL en Pt. 3 Ch. 6 Sec. 2:

Structural member	Design load set	Design load scenario	Load component ⁴⁾	Draught	Acceptance criteria	Loading condition for definition of GM and k_r
External shell and exposed deck	SEA-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_S + P_W, P_D$	T_{SC}	AC-II	Full load condition
Superstructure side			$\max(P_W; P_{ST})$			
External shell	SEA-2 ⁵⁾	1 ⁵⁾	P_S	T_{SC}	AC-I	-
Boundaries of water ballast tanks and ballast holds	WB-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{Is-1} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{(1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-2	3	$P_{Is-2} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{(1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-3	4	$\max(P_{Is-4}; P_{Is-ST}) - P_S^{(1)}$	$\min(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	-
	WB-4 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{Is-3} - P_S^{(1)}$	T_{BAL}	AC-I	-
Boundaries of tanks other than ballast water tanks	TK-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{Is-1} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{(1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	TK-2	4	$\max(P_{Is-4}; P_{Is-ST})^{(6)}$	-	AC-III	-
	TK-3 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{Is-3} - P_S^{(1)}$	T_{BAL}	AC-I	-
Internal structures in tanks	INT-1	1	P_{int}	T_{SC}	AC-I	-
Collision bulkhead	FD-1	5	P_{fs}	T_{DAM}	AC-I	-
Watertight boundaries other than collision bulkhead					AC-III	
Exposed decks and non-exposed decks and platforms with distributed load	UDL-1 ²⁾⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	$T_{BAL}^{(3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	UDL-2 ²⁾⁵⁾	1 ⁵⁾	P_{dl-s} F_{U-s}	-	AC-I	-
Decks and hatch covers/ RO/RO equipments with wheel loading	WL-1 ²⁾	2	P_{wl-2}	$T_{BAL}^{(3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	WL-2 ²⁾	1	P_{wl-1}	-	AC-I	-

Para encontrar la definición de σ_{hg} es necesario acudir al Ch. 5 Sec. 3 de la parte 3 del reglamento donde se establece que para buques que no tienen cubiertas con grandes aperturas como ocurre con el buque proyecto:

$$\sigma_{hg} = \sigma_{hg-sw} + \sigma_{hg-dyn}$$

$$\sigma_{hg-sw} = \begin{cases} \sigma_{sw-h} \text{ (quebranto)} \\ \sigma_{sw-s} \text{ (arrufo)} \end{cases}$$

$$\sigma_{hg-dyn} = \sigma_{wv-LC} + \sigma_{wh-LC}$$

$$|\sigma_{hg}| \leq \sigma_{hg-perm}$$

$$\sigma_{hg-perm} = \frac{205}{k} = 205$$

Para calcular σ_{hg-sw} :

$$\sigma_{sw-h} = \frac{M_{sw-h}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) * 10^{-3} \text{ (quebranto)}$$

$$\sigma_{sw-s} = \frac{M_{sw-s}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) * 10^{-3} \text{ (arrufo)}$$

Z se corresponde con la distancia vertical desde la línea base al punto considerado y z_{n-n50} se corresponde con la distancia vertical al eje neutro que tomaremos como el 40% del puntal, es decir $0.4*8.8=3.52$ m.

I_{y-n50} es el momento de inercia neto de la sección transversal del casco sobre su eje neutro horizontal y para calcularlo el reglamento nos aporta la fórmula del momento de inercia bruto (DNV-GL Pt. 3 Ch. 5 Sec.2):

$$I_{yR-gr} = 3f_r C_w L^3 B (C_B + 0.7) 10^{-8}$$

f_r es el factor de reducción relacionado con restricciones de servicio y aparece definido en el reglamento en Ch. 4 Sec. 3:

f_r = reduction factor related to service restrictions as defined in Pt.1 Ch.2 Sec.5:
 1.0 for service area notation **R0** (No reduction)
 0.9 for service area notation **R1** (10% reduction)
 0.8 for service area notation **R2** (20% reduction)
 0.7 for service area notation **R3** (30% reduction)
 0.6 for service area notation **R4** (40% reduction)
 0.5 for service area notation **RE** (50% reduction)

En Pt. 1 Ch.2 Sec. 5 encontramos la siguiente tabla:

Service area notations	Seasonal zones (nautical miles)			Corresponding significant wave height H_S ¹⁾ in meters
	Winter	Summer	Tropical	
R0	250	No restrictions	No restrictions	Not applicable
R1	100	200	300	$0.9C_w$
R2	50	100	200	$0.8C_w$
R3	20	50	100	$0.6C_w$
R4	5	10	20	$0.5C_w$
RE	Enclosed waters			$0.4C_w$

1) C_w is the wave coefficient as defined in Pt.3 Ch.4 Sec.4. The significant wave height (H_S) assumes reduced speed in head sea and that heading is changed when necessary to avoid resonance and extreme rolling.

Por tanto, el coeficiente de reducción f tendrá un valor igual a una 1 lo que implica que la inercia no sufre ninguna reducción debido a que el buque puede navegar en verano a una distancia superior a 200 millas náuticas de un puerto o fondeadero seguro.

El coeficiente de ola aparece definido en la Pt. 3 Ch.4 Sec. 4 de la siguiente manera:

C_w = wave coefficient, shall be taken as:

$$C_w = 0.0856L \quad \text{for } L < 90$$

$$C_w = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5} \quad \text{for } 90 \leq L \leq 300$$

$$C_w = 10.75 \quad \text{for } 300 < L \leq 350$$

$$C_w = 10.75 - \left(\frac{L-350}{150}\right)^{1.5} \quad \text{for } 350 < L \leq 500$$

Como la eslora del buque proyecto se encuentra entre los 90 y los 300 metros, emplearemos la siguiente fórmula para calcular el coeficiente de ola:

$$C_w = 10.75 - \left(\frac{300-L}{100}\right)^{1.5}$$

$$C_w = 10.75 - \left(\frac{300-146.09}{100}\right)^{1.5}$$

$$C_w = 8.84$$

Conociendo estos valores podemos calcular el momento de inercia de la sección transversal:

$$I_{yR-gr} = 3f_r C_w L^3 B (C_B + 0.7) 10^{-8}$$

$$I_{yR-gr} = 3 * 1 * 8.84 * 146.09^3 * 24(0.688 + 0.7) 10^{-8} = 27.55 m^4$$

Los momentos admisibles de flexión vertical en la sección transversal del casco (M_{sw-h} y M_{sw-s}) en aguas tranquilas vienen definidos en Pt.3 Ch. 4 Sec. 4 [2.2.2]:

The permissible vertical still water bending moments, M_{sw-h} and M_{sw-s} , in kNm, for hogging and sagging respectively, in seagoing condition at any longitudinal position shall envelop:

- the most severe still water bending moments calculated, in hogging and sagging conditions, respectively, for the seagoing loading conditions defined in [Sec.8](#)
- the most severe still water bending moments for the seagoing loading conditions defined in the loading manual.

Como en estas fases de diseño aún no se conocen los valores de estos momentos, el reglamento nos facilita unas fórmulas para obtener unos valores aproximados que se pueden emplear en fases del diseño preliminar:

$$M_{sw-h-min} = f_{sw}(171C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} - W_{wv-h-mid})$$

$$M_{sw-s-min} = -0.85f_{sw}(171C_w L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-3} - W_{wv-s-mid})$$

Donde f_{sw} es un factor de distribución cuyo valor se toma siguiendo las siguientes indicaciones:

f_{sw} = distribution factor along the ship length, shall be taken as, see [Figure 1](#):

$$f_{sw} = 0.0 \quad \text{for } x \leq 0$$

$$f_{sw} = 0.15 \quad \text{at } x = 0.1 L$$

$$f_{sw} = 1.0 \quad \text{for } 0.3 L \leq x \leq 0.7 L$$

$$f_{sw} = 0.15 \quad \text{at } x = 0.9 L$$

$$f_{sw} = 0.0 \quad \text{for } x \geq L$$

Como estamos calculando la cuaderna maestra que se encuentra muy próxima al centro del buque $f_{sw} = 1$.

Los momentos de flexión de la onda vertical se calculan a partir de las fórmulas indicadas en el reglamento:

$$W_{wv-h-mid} = 0.19 * \frac{f_R}{0.85} f_{nl-vh} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

$$W_{wv-s-mid} = -0.19 * \frac{f_R}{0.85} f_{nl-vs} f_m f_p C_w L^2 B C_B$$

Donde $\frac{f_{nl-vh}}{f_{nl-vs}}$, f_R , f_m y f_p son coeficientes definidos en el reglamento y que tienen los siguientes valores:

Tabla 6: Coeficientes para el cálculo de flexión de la onda

	$\frac{f_{nl-vh}}{f_{nl-vs}}$	f_R	f_m	f_p
<i>Quebranto</i>	1	0.85	1	1
<i>Arrufo</i>	1.13	0.85	1	1

Con estos coeficientes y los calculados previamente obtenemos los siguientes valores:

$$W_{wv-h-mid} = 0.19 * \frac{0.85}{0.85} * 1 * 1 * 1 * 8.84 * 146.09^2 * 24 * 0.688 = 592063.0207 \text{ kNm}$$

$$W_{wv-s-mid} = -0.19 * \frac{0.85}{0.85} * 1.13 * 1 * 1 * 8.84 * 146.09^2 * 24 * 0.688 = -692706.7202 \text{ kNm}$$

Entonces,

$$M_{sw-h-min} = 482826.7176 \text{ kNm}$$

$$M_{sw-s-min} = -324855.5653 \text{ kNm}$$

Si volvemos a las fórmulas de σ_{hg-sw} :

$$\sigma_{sw-h} = \frac{M_{sw-h}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) * 10^{-3} \text{ (quebranto)}$$

$$\sigma_{sw-s} = \frac{M_{sw-s}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) * 10^{-3} \text{ (arrufo)}$$

$$\sigma_{sw-h} = \frac{482826.7176}{27.55} (z - 3.52) * 10^{-3}$$

$$\sigma_{sw-s} = \frac{-324855.5653}{27.55} (z - 3.52) * 10^{-3}$$

$$\sigma_{sw-h} = 17.52599(z - 3.52) \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{sw-s} = -11.7918372(z - 3.52) \frac{N}{mm^2}$$

Z dependerá de la distancia vertical al punto que estemos considerando por lo que variará de un elemento a otro.

Para calcular σ_{hg-dyn} :

$$\sigma_{hg-dyn} = \sigma_{wv-LC} + \sigma_{wh-LC}$$

$$\sigma_{wv-LC} = \frac{M_{wv-LC}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) 10^{-3}$$

$$\sigma_{wh-LC} = -\frac{M_{wh-LC}}{I_{z-n50}} y 10^{-3}$$

Por tanto, lo primero que debemos calcular son los momentos flectores M_{wv-LC} y M_{wh-LC} . Para calcular M_{wv-LC} debemos echar un ojo a la siguiente tabla del DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 4:

Table 4 Vertical wave bending moment for dynamic load cases

Load combination factor	M_{wv-LC}
$C_{wv} \geq 0$	$f_{\beta} C_{wv} M_{wv-h}$
$C_{wv} < 0$	$f_{\beta} C_{wv} |M_{wv-s}|$

where:

C_{wv} = load combination factor for vertical wave bending moment, shall be taken as specified in [Sec.2](#)

M_{wv-h} , M_{wv-s} = hogging and sagging vertical wave bending moment taking into account the considered design load scenario, as defined in [\[3.1.1\]](#).

Figura 1: Momento flector de onda vertical para casos de carga dinámica. DNV

Para conocer que fórmula debemos aplicar, necesitamos calcular el factor de combinación de carga C_{wv} . Este factor lo podemos encontrar en el reglamento en el Ch. 4 Sec. 2 en la siguiente tabla:

Load component		LCF	HSM-1	HSM-2	HSA-1	HSA-2	FSM-1	FSM-2
Hull girder loads	M_{WV}	C_{WV}	-1	1	-0.7	0.7	$-0.4f_T - 0.6$	$0.4f_T + 0.6$
	Q_{WV}	C_{QW}	$-1.0f_{lp}$	$1.0f_{lp}$	$-0.6f_{lp}$	$0.6f_{lp}$	$-1.0f_{lp}$	$1.0f_{lp}$
	M_{WH}	C_{WH}	0	0	0	0	0	0
	M_{WT}	C_{WT}	0	0	0	0	0	0

En la siguiente tabla se exponen las respuestas del buque para los diferentes casos de carga (DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 2):

Table 1 Ship responses for HSM, HSA and FSM load cases - strength assessment

Load case	HSM-1	HSM-2	HSA-1	HSA-2	FSM-1	FSM-2
EDW	HSM		HSA		FSM	
Heading	Head		Head		Following	
Effect	Max. bending moment		Max. vertical acceleration		Max. bending moment	
VWBM	Sagging	Hogging	Sagging	Hogging	Sagging	Hogging
VWSF	Negative-aft Positive-fore	Positive-aft Negative-fore	Negative-aft Positive-fore	Positive-aft Negative-fore	Negative-aft Positive-fore	Positive-aft Negative-fore
HWBM	-	-	-	-	-	-
TM	-	-	-	-	-	-
Surge	To stern	To bow	To stern	To bow	To bow	To stern
a_{surge}						
Sway	-	-	-	-	-	-
a_{sway}	-	-	-	-	-	-
Heave	Down	Up	Down	Up	-	-
a_{heave}					-	-
Roll	-	-	-	-	-	-
a_{roll}	-	-	-	-	-	-
Pitch	Bow down	Bow up	Bow down	Bow up	Bow up	Bow down
a_{pitch}						

Para el caso de carga HSM-1, $C_{wv} = -1$ y :

$$M_{wv-LC} = f_{\beta} C_{wv} |M_{wv-s}|$$

f_{β} viene definido en el reglamento y cómo podemos comprobar a continuación tomará un valor igual a 1.

f_{β} = heading correction factor, shall be taken as:
for strength assessment:
 $f_{\beta} = 1.0$ in general
 $f_{\beta} = 0.8$ for BSR and BSP load cases for the extreme sea loads design load scenario
for fatigue assessment:
 $f_{\beta} = 1.0$

$$M_{wv-LC} = 1 * (-1) * (692706.7202) = -692706.7202 \text{ kNm}$$

Para el caso de carga HSM-2, $C_{wv} = 1$ y :

$$M_{wv-LC} = f_{\beta} C_{wv} M_{wv-h}$$

$$M_{wv-LC} = 1 * (1) * 592063,0207 = 592063,0207 \text{ kNm}$$

También tenemos que calcular el momento M_{wh-LC} :

$$M_{wh-LC} = f_{\beta} C_{wH} M_{wh}$$

Como se puede apreciar en la tabla "Table 4 Load combination factors for HSM, HSA and FSM load cases - strength assessment", C_{WH} tiene un valor igual a cero y por tanto:

$$\begin{aligned}
 M_{wh-LC} &= 0 \\
 \sigma_{wh-LC} &= -\frac{M_{wh-LC}}{I_{z-n50}} y 10^{-3} = 0 \\
 \sigma_{hg-dyn} &= \sigma_{wv-LC} + \sigma_{wh-LC} = \sigma_{wv-LC} \\
 \sigma_{hg-dyn} &= \frac{M_{wv-LC}}{I_{y-n50}} (z - z_{n-n50}) 10^{-3} \\
 \sigma_{hg-dyn} &= c(z - 3.52) 10^{-3} = -25.144 * \frac{(z - 3.52)N}{mm^2} \text{ (arrufo HSM - 1)} \\
 \sigma_{hg-dyn} &= c(z - 3.52) 10^{-3} = 21.491 * \frac{(z - 3.52)N}{mm^2} \text{ (quebranto HSM - 2)}
 \end{aligned}$$

Finalmente, para la condición de carga HSM-1:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hg} &= \sigma_{hg-sw} + \sigma_{hg-dyn} \\
 \sigma_{sw-s} &= -11.7918(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} \\
 \sigma_{hg-dyn} &= -25.144 * \frac{(z - 3.52)N}{mm^2} \\
 \sigma_{hg} &= -11.7918(z - 3.52) - 25.144(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} \text{ (arrufo)}
 \end{aligned}$$

Para la condición de carga HSM-2:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{sw-h} &= 17.52598(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} \\
 \sigma_{hg-dyn} &= 21.491 * \frac{(z - 3.52)N}{mm^2} \\
 \sigma_{hg} &= 17.52598(z - 3.52) + 21.491(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} \text{ (quebranto)}
 \end{aligned}$$

Como se puede observar en la tabla "Table 1 Ship Responses for HSM, HSA and FSM load cases- strength assessment" para el caso de carga HSM.-1 que es el que estudiaremos a lo largo de este cuaderno, se corresponde con la posición de "sagging", es decir, arrufo. Por lo que se empleará la segunda fórmula para calcular σ_{hg} .

Como ya se ha mencionado previamente z dependerá del elemento considerado.

5.1.2.1 Chapa de fondo

Para calcular el espesor mínimo de la chapa de fondo en función de las presiones se sigue el procedimiento explicado anteriormente:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde,

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}$$

Siendo a y b el largo y ancho de la chapa que como se ha visto previamente se corresponden con el lado de mayor longitud y de menor longitud de la chapa, respectivamente y cuyo valor será la separación entre los refuerzos primarios y secundarios:

$$a = 2800mm$$

$$b = 580mm$$

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{580}{2.1 * 2800} = 1.01 > 1$$

$$\alpha_p = 1$$

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

Donde, como se ha indicado en el apartado anterior σ_{hg} se obtiene de las siguientes fórmulas en función del caso de carga que estemos estudiando

$$\sigma_{hg} = -11.7918(z - 3.52) - 25.144(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} (HSM - 1)$$

$$\sigma_{hg} = 17.52598(z - 3.52) + 21.491(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} (HSM - 2)$$

$$|\sigma_{hg}| \leq \sigma_{hg-perm}$$

$$\sigma_{hg-perm} = \frac{205}{k} = 205$$

Nos quedaremos con el σ_{hg} obtenido mediante la fórmula siempre y cuando sea menor que 205 N/mm², si no $\sigma_{hg} = 205 \frac{N}{mm^2}$. En este caso, z=0 metros por que estamos valorando un elemento del fondo que se encuentra a 0 metros sobre el sistema de referencia establecido en el reglamento.

Los coeficientes se obtuvieron de la tabla para un criterio de aceptación AC-II como nos indica la tabla de las presiones:

Boundaries of tanks other than ballast water tanks	TK-1	2	$P_{IS-1} + P_{Id} - (P_S + P_W)^{(1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	TK-2	4	$P_{IS-ST} - P_S^{(1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	
	TK-3	1	$P_{IS-3} - P_S^{(1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-

AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95

Tabla 7: Cálculo σ_{hg} chapa de fondo

β_a	α_a	σ_{hg} HSM-1	σ_{hg} HSM-2	ReH	Ca-max
1.05	0.5	130,0154	-137,340	235	0.95

$$C_a = 1.05 - 0.5 \frac{|130.0154|}{235} = 0.773 \text{ (HSM - 1)}$$

$$C_a = 1.05 - 0.5 \frac{|137.040|}{235} = 0.758 \text{ (HSM - 2)}$$

Ahora nos falta conocer el valor de las presiones y como acabamos de ver:

$$P = P_{ls-1} + P_{ld} - (P_s + P_w)$$

Procederemos con el cálculo de las presiones según nos marca el reglamento:

- Cálculo de la Presión Hidrostática, P_s (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 5):

Table 1 Hydrostatic pressure, P_s

Location	Hydrostatic pressure, P_s , in kN/m^2
$z \leq T_{LC}$	$\rho g (T_{LC} - z)$
$z > T_{LC}$	0

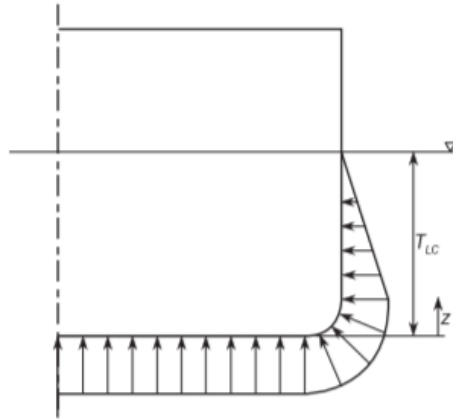


Figure 1 Transverse distribution of hydrostatic pressure P_s

Consideraremos que $T_{LC} = T_{Sc} = 6.5 \text{ m}$. Y como nos encontramos en el fondo a una altura $z=0$:

$$P_s = \rho g (T_{Sc} - z)$$

$$\rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_s = 1.025 * 9.81 * (6.5 - 0) = 65.36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Cálculo de la Presión Hidrodinámica, P_w (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 5):

	Wave pressure, in kN/m^2		
Load case	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
HSM-1	$P_W = \max\{-P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$	$P_W = P_{W, WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0.0$
HSM-2	$P_W = \max\{P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$		

De nuevo, se realizarán los cargos para los dos casos de carga. Para HSM-1:

$$P_W = \max(-P_{HS}; \rho g(z - T_{SC}))$$

En primer lugar, calculamos $\rho g(z - T_{SC})$ porque podemos hacer el cálculo directo:

$$\rho g(z - T_{SC}) = 1.025 * 9.81 * (0 - 6.5) = -65.36 \frac{kN}{m^2}$$

A continuación, es necesario calcular P_{HS} :

$$P_{HS} = C_{f_T} f_{ps} f_{nl} f_h k_a k_p f_{yz} C_W \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

Donde:

$$C_{f_T} = f_T + 0.5 - (0.7 f_T - 0.2) C_B$$

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}} = 1$$

$$C_{f_T} = 1 + 0.5 - (0.7 - 0.2) * 0.688 = 1.1$$

$$f_{ps} = 1$$

f_{ps} = coefficient for strength assessments which is dependant on the applicable design load scenario specified in Sec.7, and shall be taken as:
 $f_{ps} = 1.0$ for extreme sea loads design load scenario
 $f_{ps} = f_r$ for extreme sea loads design load scenario for vessels with service restriction
 $f_{ps} = 0.8$ for the ballast water exchange design load scenario
 $f_{ps} = 0.8 \cdot f_r$ for the ballast water exchange design load scenario for vessels with service restriction

$$f_{nl} = 0.9$$

f_{nl} = coefficient considering non-linear effects, to be taken as:
for extreme sea loads design load scenario:
 $f_{nl} = 0.7$ at $f_{xL} = 0$
 $f_{nl} = 0.9$ at $f_{xL} = 0.3$
 $f_{nl} = 0.9$ at $f_{xL} = 0.7$
 $f_{nl} = 0.6$ at $f_{xL} = 1$

$$f_h = 3.0(1.21 - 0.66 f_T) = 1.65$$

$$k_a = 1$$

k_a = amplitude coefficient in the longitudinal direction of the ship, to be taken as:

$$k_a = (0.5 + f_T) \left[\left(3 - 2\sqrt{f_{yB}} \right) - \frac{20}{9} f_{xL} (7 - 6\sqrt{f_{yB}}) \right] + \frac{2}{3} (1 - f_T) \quad \text{for } f_{xL} < 0.15$$

$$k_a = 1.0 \quad \text{for } 0.15 \leq f_{xL} < 0.7$$

$$k_a = 1 + (f_{xL} - 0.7) \left\{ \left(\frac{40}{3} f_T - 5 \right) + 2 \left(1 - f_{yB} \right) \left[\frac{18}{C_B} f_T (f_{xL} - 0.7) - 0.25 (2 - f_T) \right] \right\} \quad \text{for } f_{xL} \geq 0.7$$

$$k_p = 1$$

f_{xL}	0	$0.3 - 0.1 f_T$	$0.35 - 0.1 f_T$	$0.8 - 0.2 f_T$	$0.9 - 0.2 f_T$	1.0
k_p	$-0.25 f_T (1 + f_{yB})$	-1	1	1	-1	-1

$$f_{yz} = C_x * \frac{z}{T_{LC}} + (2 - C_x) f_{yB} + 1$$

$$C_x = 1.5 - \frac{|x - 0.5L|}{L} = 1.5 - \frac{|61.6 - 0.5 * 146.09|}{146.09} = 1.42$$

$$f_{yB} = \frac{2y}{B_x} = 0 \text{ (calcularemos la plancha de crugía)}$$

$$f_{yz} = 1$$

$$C_W = 8.84 \text{ (calculado previamente)}$$

$$L_0 = L \text{ sin ser menor de 110 metros}$$

$$L_0 = L = 146.09 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.6 \left(1 + \frac{2}{3} f_T \right) L = 146.09$$

$$P_{HS} = 16.23 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto, $P_w = \max(-P_{HS}; \rho g(z - T_{SC}))$ será el máximo de los siguientes valores:

$$-P_{HS} = -16.23 \frac{kN}{m^2}$$

$$\rho g(z - T_{SC}) = -65.36 \frac{kN}{m^2}$$

Finalmente, para HSM-1:

$$P_w = -16.23 \frac{kN}{m^2}$$

Para HSM-2:

$$P_W = \max(P_{HS}; \rho g(z - T_{SC}))$$

$$P_{HS} = 16.23 \frac{kN}{m^2}$$

$$\rho g(z - T_{SC}) = -65.36 \frac{kN}{m^2}$$

Y para HSM-2:

$$P_w = 16.23 \frac{kN}{m^2}$$

La suma de la presión hidrostática e hidrodinámica para el caso más desfavorable que en este caso es HSM-2 resultará:

$$P_s + P_w = 65.36 + 16.23 = 81.59 \frac{kN}{m^2}$$

Aparte de la presión que ejerce el mar sobre la estructura del fondo del buque, también existe la presión que ejerce el tanque de lastre situado en el doble fondo sobre la chapa del fondo. Por tanto, el siguiente paso necesario para calcular la presión total sobre la chapa es necesario conocer la presión estática del tanque (P_{ls}) y la presión dinámica (P_{ld}).

DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 6:

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static plus dynamic (S + D) design load scenarios shall be derived for each dynamic load case and shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} + P_{td} \text{ but not less than } 0$$

- Cálculo de la Presión Estática del tanque, Pls (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 6):

1.2.1 Normal operations at sea

The static pressure, in kN/m^2 , in tanks and ballast holds for normal operations at sea, shall be taken as:

$$P_{ts-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z) + P_{PV} \quad \text{for tanks arranged with pressure relief valves}$$

$$P_{ts-1} = \rho_L g (z_{top} - z) \quad \text{for other cases.}$$

Se trata de un buque de lastre ubicado en el doble fondo por lo que no tiene válvulas de alivio:

$$P_{ts-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z)$$

f_{cd} = factor for joint probability of occurrence of liquid cargo density and maximum sea state in 25 years design life, to be taken as:

$f_{cd} = 0.88$ for strength assessment with FE analysis of cargo tanks filled with for oil or oil products cargo with $\rho_L \leq 1.025 \text{ t/m}^3$

$f_{cd} = 1.0$ for other cases

$$f_{cd} = 1$$

$$\rho_L = 1.025$$

$$g = 9.81$$

$z_{top} = 1.4$ (se corresponde con la altura del punto más elevado del tanque)

$$z = 0$$

Por tanto,

$$P_{ts-1} = 14.08 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Cálculo de la Presión Dinámica del tanque, Pld (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 6):

El reglamento nos facilita la siguiente expresión:

$$P_{ld} = f_{cd} \rho_L [a_z(z_0 - z) + f_{ull-l} a_x(x_0 - x) + f_{ull-t} a_y(y_0 - y)]$$

A continuación iremos calculando los parámetros de la fórmula uno a uno, para finalmente obtener el valor total de Pld.

$$f_{cd} = 1$$

$$\rho_L = 1.025$$

f_{ull-l} = longitudinal acceleration correction factor for the ullage space above the liquid in tanks and ballast holds, taken as:

for strength assessment:

$f_{ull-l} = 0.62$ for cargo tanks filled with any liquids inclusive water ballast

$f_{ull-l} = 1.0$ for other cases

for fatigue assessment:

$$f_{ull-l} = 0.5 + \frac{|z_0 - z|}{l_{fs}} \frac{180}{\theta\pi} \quad \text{for cargo tanks and ballast holds}$$

$f_{ull-l} = 1.0$ for other cases

f_{ull-l} shall not be less than 0.0 nor greater than 1.0

$$f_{ull-l} = 0.62$$

f_{ull-t} = transverse acceleration correction factor to account for the ullage space above the liquid in tanks and ballast holds, taken as:

for strength assessment:

$f_{ull-t} = 0.67$ for cargo tanks filled with any liquids inclusive water ballast

$f_{ull-t} = 1.0$ for other cases

for fatigue assessment:

$$f_{ull-t} = 0.5 + \frac{|z_0 - z|}{b_{top}} \frac{180}{\theta\pi} \quad \text{for cargo tanks and ballast holds}$$

$f_{ull-t} = 1.0$ for other cases

$$f_{ull-t} = 0.67$$

Los puntos x_0, y_0 y z_0 son las coordenadas del punto de referencia. Y el punto de referencia debe ser aquel punto con el mayor valor de V_j , calculado para todos los puntos que definen el límite superior del tanque:

$$V_j = a_x(x_j - x_G) + a_y(y_j - y_G) + (a_z + g)(z_j - z_G)$$

Donde,

x_j, y_j y z_j son las coordenadas del punto j en el límite superior del tanque. El reglamento nos aporta un método simplificado para calcular estos puntos asumiendo una forma de área rectangular para la parte superior del tanque:

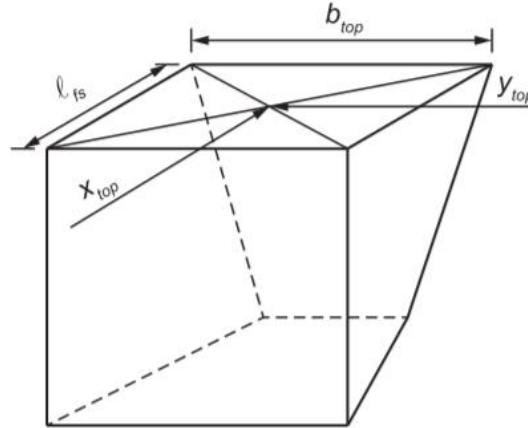
$$x_j = x_{top} \pm 0.5l_{fs}$$

$$y_j = y_{top} \pm 0.5b_{top}$$

$$z_j = 1.4 \text{ m (altura del tanque)}$$

Los valores de x_{top} , y_{top} , l_{fs} y b_{top} se encuentran definidos en la siguiente imagen:

- x_{top} = X coordinate, in m, of the centre of the rectangular area A_{top} at the top of the tank or the ballast hold hatch coaming
- y_{top} = Y coordinate, in m, of the centre of the rectangular area A_{top} at the top of the tank or the ballast hold hatch coaming
- A_{top} = $l_{fs} \cdot b_{top}$: the area of an rectangular shape at the top of the tank or the ballast hold hatch coaming, in m^2 .

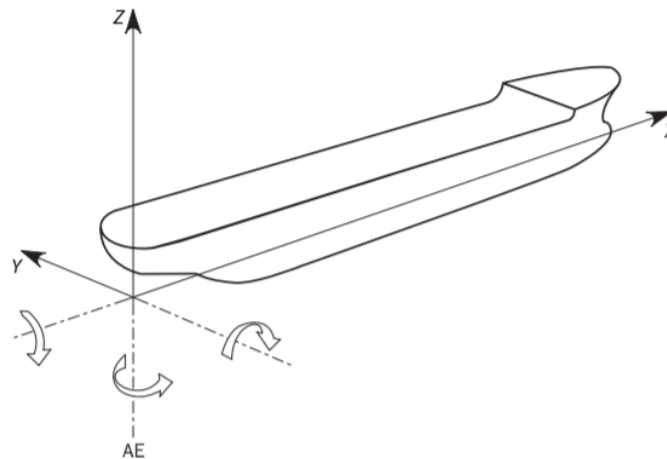


El sistema de referencia se muestra en la imagen a continuación:

3.6 Reference coordinate system

The ship's geometry, motions, accelerations and loads are defined with respect to the following right-hand coordinate system, see Figure 4:

- origin = at the intersection among the longitudinal plane of symmetry of ship, the aft end of L and the baseline.
- X axis = longitudinal axis, positive forwards
- Y axis = transverse axis, positive towards port side
- Z axis = vertical axis, positive upwards.



Por tanto,

$$x_{top} = 63 \text{ m (distancia longitudinal al centro del tanque)}$$

$$y_{top} = 4.8 \text{ m (distancia desde crujía al centro del tanque)}$$

$$l_{fs} = 8.4 \text{ m}$$

$$b_{top} = 9.6 \text{ m}$$

$$x_{j-1} = 63 + 0.5 * 8.4 = 67.2$$

$$x_{j-2} = 63 - 0.5 * 8.4 = 58.8$$

$$y_{j-1} = 4.8 + 0.5 * 9.6 = 9.6$$

$$y_{j-1} = 4.8 - 0.5 * 9.6 = 0$$

Las coordenadas x_G , y_G y z_G hacen referencia al centro de gravedad del tanque. Como en el centro del buque el fondo es casi plano, podemos considerar que el tanque de lastre será un paralelepípedo de bases rectangulares y por consiguiente su las coordenadas de su centro de gravedad serán:

$$x_G = 63 \text{ m}$$

$$y_G = 4.8 \text{ m}$$

$$z_G = 0.7 \text{ m}$$

Ahora tenemos que calcular las aceleraciones a_x , a_y y a_z . (DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 3):

3.2.1 Longitudinal acceleration

The longitudinal acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_x = f_\beta \left[\left(-C_{xG} g \sin \varphi \right) + C_{xS} a_{\text{surge}} + C_{xP} a_{\text{pitch}} (z - R) \right]$$

3.2.2 Transverse acceleration

The transverse acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_y = f_\beta \left[C_{yG} g \sin \theta + C_{yS} a_{\text{sway}} - C_{yR} a_{\text{roll}} (z - R) \right]$$

3.2.3 Vertical acceleration

The vertical acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_z = f_\beta \left[C_{zH} a_{\text{heave}} + C_{zR} a_{\text{roll}} y - C_{zP} a_{\text{pitch}} (x - 0.45L) \right]$$

f_β = heading correction factor, shall be taken as:
for strength assessment:
 $f_\beta = 1.0$ in general
 $f_\beta = 0.8$ for BSR and BSP load cases for the extreme sea loads design load scenario
for fatigue assessment:
 $f_\beta = 1.0$

$$f_\beta = 1$$

- Surge Acceleration a_{surge}

$$a_{\text{surge}} = 0.2 \left(1.6 + \frac{1.5}{\sqrt{gL}} \right) f_p a_0 g$$

$$f_p = f_{ps} = 1$$

El parámetro de aceleración, a_0 , viene definida en el reglamento en el mismo apartado (DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 3):

$$a_0 = (1.58 - 0.47 C_B) \left(\frac{2.4}{\sqrt{L}} + \frac{34}{L} - \frac{600}{L^2} \right) = 0.5066 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{\text{surge}} = 0.2 \left(1.6 + \frac{1.5}{\sqrt{9.81 * 146.09}} \right) * 1 * 0.5066 * 9.81 = 1.6298 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- Sway Acceleration a_{sway}

$$a_{\text{sway}} = 0.3 \left(2.25 - \frac{20}{\sqrt{gL}} \right) f_p a_0 g = 0.3 \left(2.25 - \frac{20}{\sqrt{9.81 * 146.09}} \right) 1 * 0.5066 * 9.81 =$$

$$a_{sway} = 2.567 \frac{m}{s^2}$$

- Heave Acceleration a_{heave}

$$a_{heave} = 0.8(1 + 0.03v)\left(0.72 + \frac{2L}{700}\right)\left(1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{gL}}\right)f_p a_0 g \quad L < 100 \text{ m}$$

$$a_{heave} = \left(0.4 + \frac{L}{250}\right)\left(1 + 0.03v\left(3 - \frac{L}{50}\right)\right)\left(1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{gL}}\right)f_p a_0 g \quad 100 \leq L < 150 \text{ m}$$

$$a_{heave} = \left(1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{gL}}\right)f_p a_0 g \quad L \geq 150 \text{ m}$$

Como $100 \leq L < 150 \text{ m}$:

$$a_{heave} = \left(0.4 + \frac{L}{250}\right)\left(1 + 0.03v\left(3 - \frac{L}{50}\right)\right)\left(1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{gL}}\right)f_p a_0 g$$

v = unless otherwise specified in Pt.5, to be taken as:
0 kt for $L < 100 \text{ m}$
5 kt for $L \geq 150 \text{ m}$
linear interpolation for L between 100 m and 150 m.

$$v = 4.7 \text{ kt}$$

$$a_{heave} = \left(0.4 + \frac{146.09}{250}\right)\left(1 + 0.03 * 4.7 * \left(3 - \frac{146.09}{50}\right)\right)\left(1.15 - \frac{6.5}{\sqrt{9.81 * 146.09}}\right)1 * 0.5066$$

$$a_{heave} = 4.8379 \frac{m}{s^2}$$

- Roll Acceleration a_{roll}

$$a_{roll} = f_p \theta \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\theta}\right)^2$$

Donde,

θ = roll angle in deg, using f_p equal to 1.0

f_p = coefficient shall be taken as:

$$f_p = f_{ps} \quad \text{for strength assessment}$$

$$f_p = f_R [0.23 - 4f_{TB} \cdot 10^{-4}] \quad \text{for fatigue assessment.}$$

El periodo y ángulo de balanceo tienen la siguientes fórmulas:

$$T_\theta = \frac{2.3\pi k_r}{\sqrt{g GM}}$$

$$\theta = \frac{9000(1.4 - 0.035T_\theta)f_p f_{BK}}{(1.15B + 55)\pi}$$

Donde,

- f_p = coefficient shall be taken as:
 $f_p = f_{ps}$ for strength assessment
 $f_p = f_R(0.23 - 4f_T B \cdot 10^{-4})$ for fatigue assessment
- f_{BK} = shall be taken as:
 $f_{BK} = 1.2$ for ships without bilge keel
 $f_{BK} = 1.0$ for ships with bilge keel
- k_r = roll radius of gyration, in m, in the considered loading condition. In case k_r has not been calculated, the following values may be used
 $k_r = 0.39 B$ in general
 $k_r = 0.35 B$ for tankers in ballast
For fatigue, default values are given in Ch.9.
- GM = metacentric height, in m, in the considered loading condition, minimum $0.05 B$. In case GM has not been calculated, the following values may be adopted:
 $GM = 0.07 B$ in general
 $GM = 0.12 B$ for tankers
 $GM = 0.05 B$ for container ship with $B \leq 32.2$ m
 $GM = 0.11 B$ for container ship with $B \geq 40.0$ m

$$f_p = f_{ps} = 1$$

$$f_{BK} = 1.2 \text{ porque no tengo quilla de balance}$$

El buque no dispone de quilla de balance pero lleva estabilizadores. Sin embargo, como estos pueden recogerse calcularemos el caso más desfavorable que se produce cuando los estabilizadores están recogidos.

$$k_r = 0.39 * 24 = 9.36 \text{ m}$$

$$GM = 0.07 * 24 = 1.68 \text{ m}$$

$$T_\theta = \frac{2.3\pi * 9.36}{\sqrt{9.81 * 1.68}} = 16.66 \text{ s}$$

$$\theta = \frac{9000(1.4 - 0.035 * 16.66)1 * 1.2}{(1.15 * 24 + 55)\pi} = 34^\circ$$

$$a_{roll} = 1 * 34 + \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{16.66} \right)^2 = 0.0844 \frac{rad}{s^2}$$

- Pitch Acceleration a_{pitch}

$$a_{pitch} = 0.8(1 + 0.05v)f_p \left(0.72 + \frac{2L}{700} \right) \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}} \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2 \quad L < 100 \text{ m}$$

$$a_{pitch} = \left(0.4 + \frac{L}{250} \right) \left(1 + 0.05v \left(3 - \frac{L}{50} \right) \right) f_p \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}} \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2 \quad 100 \leq L < 150 \text{ m}$$

$$a_{pitch} = f_p \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}} \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2 \quad L \geq 150 \text{ m}$$

Como $100 \leq L < 150$ m:

$$a_{pitch} = \left(0.4 + \frac{L}{250} \right) \left(1 + 0.05v \left(3 - \frac{L}{50} \right) \right) f_p \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{gL}} \right) \varphi \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{T_\varphi} \right)^2$$

El ángulo y el periodo del cabeceo se calculan siguiendo las fórmulas:

$$T_{\varphi} = \sqrt{\frac{2\pi\lambda_{\varphi}}{g}}$$

$$\varphi = 920f_p L^{-0.84} \left\{ 1.0 + \left(\frac{2.57}{\sqrt{gL}} \right)^{1.2} \right\}$$

Donde,

$$\lambda_{\varphi} = 0.6(1 + f_T)L$$

$$f_T = 1 \text{ (visto previamente en el cálculo de } P_w)$$

$$\lambda_{\varphi} = 0.6(1 + 1)146.09 = 175.3$$

Por tanto,

$$T_{\varphi} = \sqrt{\frac{2\pi * 175.3}{9.81}} = 10.59 \text{ s}$$

$$\varphi = 920 * 1 * 146.09^{-0.84} \left\{ 1.0 + \left(\frac{2.57}{\sqrt{9.81 * 146.09}} \right)^{1.2} \right\} = 14.53^{\circ}$$

$$a_{pitch} = \left(0.4 + \frac{146.09}{250} \right) \left(1 + 0.05 * 4.7 * \left(3 - \frac{146.09}{50} \right) \right) \left(1.75 - \frac{22}{\sqrt{\frac{9.81}{146.09}}} \right) 14.56 \frac{\pi}{180} \left(\frac{2\pi}{10.59} \right)^2$$

$$a_{pitch} = 0.1 \frac{rad}{s^2}$$

En la siguiente tabla obtenemos el valor de los coeficientes (DMV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 2):

Load component		LCF	HSM-1	HSM-2
Hull girder loads	M_{WV}	C_{WV}	-1	1
	Q_{WV}	C_{QW}	$-1.0f_{tp}$	$1.0f_{tp}$
	M_{WH}	C_{WH}	0	0
	M_{WT}	C_{WT}	0	0
Longitudinal accelerations	a_{surge}	C_{XS}	$0.6 - 0.2f_T$	$0.2f_T - 0.6$
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	$-0.15 - L_1/300$	$0.15 + L_1/300$
	$g \sin\varphi$	C_{XG}	0.6	-0.6
Transverse accelerations	a_{sway}	C_{YS}	0	0
	a_{roll-y}	C_{YR}	0	0
	$g \sin\theta$	C_{YG}	0	0
Vertical accelerations	a_{heave}	C_{ZH}	$0.5f_T - 0.15$	$0.15 - 0.5f_T$
	a_{roll-z}	C_{ZR}	0	0
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	-0.7	0.7

$$\begin{aligned}
 C_{XG} &= -0.6 \\
 C_{XS} &= 0.2f_T - 0.6 = -0.4 \\
 C_{XP} &= 0.15 + \frac{146.09}{300} = 0.6369 \\
 C_{YG} &= 0 \\
 C_{YS} &= 0 \\
 C_{YR} &= 0 \\
 C_{ZH} &= 0.15 - 0.5f_T - 0.15 = 0.15 - 0.5 = -0.35 \\
 C_{ZR} &= 0 \\
 C_{ZP} &= 0.7
 \end{aligned}$$

El valor de la coordenada vertical del centro de rotación del buque, R, puede calcularse mediante la siguiente formula (DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 3):

$$\begin{aligned}
 R &= \min\left(\frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2}; \frac{D}{2}\right) \\
 \frac{D}{4} + \frac{T_{LC}}{2} &= \frac{8.8}{4} + \frac{6.5}{2} = 5.45 \\
 \frac{D}{2} &= \frac{8.8}{2} = 4.4 \\
 R &= 4.4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Las coordenadas x, y y z:

x, y, z = X, Y and Z coordinates, in m, of the considered point with respect to the coordinate system, as defined in [Sec.1 \[1.2.1\]](#)

El sistema de referencia es el mencionado previamente, en el cual $x=0$, $y=0$ y $z=0$ coincide con la intersección de la línea base, perpendicular de popa y crujía.

$$\begin{aligned}
 x &= 61.6 \text{ m (posición de la cuaderna maestra)} \\
 y &= 0 \text{ m (chapa de crujía)} \\
 z &= 0 \text{ m (chapa de fondo)}
 \end{aligned}$$

Con estos datos ya podemos calcular a_x , a_y y a_z :

$$\begin{aligned}
 a_x &= f_\beta [(-C_{XG}g\sin\varphi) + C_{XS}a_{surge} + C_{XP}a_{pitch}(z - R)] = 4.48 \frac{m}{s^2} \\
 a_y &= f_\beta [(C_{YG}g\sin\theta) + C_{YS}a_{sway} - C_{YR}a_{roll}(z - R)] = 0 \frac{m}{s^2} \\
 a_z &= f_\beta [C_{ZH}a_{heave} + C_{ZR}a_{roll}y - C_{ZP}a_{pitch}(x - 0.45L)] = -1.39 \frac{m}{s^2}
 \end{aligned}$$

Ahora es necesario volver a V_j para conocer el punto de referencia del que sacaremos las coordenadas x_0, y_0 y z_0 .

$$V_j = a_x(x_j - x_G) + a_y(y_j - y_G) + (a_z + g)(z_j - z_G)$$

Y como ya habíamos calculado previamente,

$$\begin{aligned}
 x_{j-1} &= 67.2 + 0.5 * 8.4 = 67.2 \\
 x_{j-2} &= 67.2 - 0.5 * 8.4 = 58.8
 \end{aligned}$$

$$y_{j-1} = 4 + 0.5 * 8 = 9.6$$

$$y_{j-2} = 4 - 0.5 * 8 = 0$$

$$x_G = 67.2 \text{ m}$$

$$y_G = 4.8 \text{ m}$$

$$z_G = 0.7 \text{ m}$$

Si calculamos V_{j-1} y V_{j-2} :

$$V_{j-1} = 6.7988(67.2 - 63) + 0(9.6 - 4.8) + (-2.885 + 9.81)(1.4 - 0.7) = 24.72$$

$$V_{j-2} = 6.7988(58.8 - 63) + 0(0 - 4.8) + (-2.885 + 9.81)(1.4 - 0.7) = -12.94$$

Por tanto el valor más elevado de V_j es para V_{j-1} y por tanto el punto de referencia será:

$$x_0 = 67.2 \text{ m}$$

$$y_0 = 9.6 \text{ m}$$

$$z_0 = 1.4 \text{ m}$$

Finalmente, ya podemos calcular el valor de P_{ld} con todos los parámetros calculados:

$$P_{ld} = f_{cd}\rho_L[a_z(z_0 - z) + f_{ull-l}a_x(x_0 - x) + f_{ull-t}a_y(y_0 - y)]$$

$$P_{ld} = 13.96 \frac{kN}{m^2}$$

Conocidas todas las presiones, ya podemos calcular la presión total:

$$P = P_{ls-1} + P_{ld} - (P_s + P_w) = 14.08 + 13.93 - (65.36 + 16.24) = -53.555 \frac{kN}{m^2}$$

Sin embargo, en ese caso el caso más desfavorable ocurre cuando los tanques van vacíos porque al llevar agua de lastre las presiones del mar y del tanque se contrarrestan. Con los tanques vacíos:

$$P = (P_s + P_w) = 81.59 \frac{kN}{m^2}$$

Y finalmente, el espesor mínimo debido a las presiones:

$$t = 0.0158\alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde, recordemos,

$$b = 580 \text{ mm}$$

$$\alpha_p = 1$$

$$C_a = 0.758$$

$$R_{eH} = 235$$

$$t = 0.0158 * 1 * 580 \sqrt{\frac{|81.59|}{0.758 * 235}} = 6.2 \text{ mm}$$

Si comparamos los espesores mínimos obtenidos por los dos métodos, podemos concluir que el espesor de la chapa de fondo será:

Espesor mínimo	Espesor mínimo en función de P
9.7 mm	6.2

Finalmente, podemos concluir que el espesor de la chapa del fondo será:

$$t = 9.7 \text{ mm}$$

Chapa de doble fondo

El doble fondo se encuentra a una altura de 1.4 metros sobre la línea base como se ha calculado previamente en el Cuaderno 4, a partir del reglamento del DNV que establecía una altura mínima de doble fondo de 1,2 metros. Sobre el doble fondo se encuentra la cubierta 1 y a la altura de la cuaderna que tomamos como referencia se encuentra un tanque de diésel.

Para calcular el espesor mínimo de la chapa del doble fondo en función de las presiones se sigue el procedimiento aplicado para la chapa de fondo:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde,

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}$$

$$a = 2800 \text{ mm}$$

$$b = 580 \text{ mm}$$

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{580}{2.1 * 2800} = 1.01 > 1$$

$$\alpha_p = 1$$

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

$$\sigma_{hg} = -11.7918(z - 3.52) - 25.144(z - 3.52) \frac{N}{\text{mm}^2} (HSM - 1)$$

$$\sigma_{hg} = 17.52598(z - 3.52) + 21.491(z - 3.52) \frac{N}{\text{mm}^2} (HSM - 2)$$

$$|\sigma_{hg}| \leq \sigma_{hg-perm}$$

$$\sigma_{hg-perm} = \frac{205}{k} = 205$$

Nos quedaremos con el σ_{hg} calculado siempre y cuando sea menor que 205 N/mm², si no $\sigma_{hg} = 205 \frac{N}{\text{mm}^2}$. En este caso, z=1.4 metros.

Los coeficientes se obtuvieron de la tabla para un criterio de aceptación AC-II como nos indica la tabla de las presiones:

Boundaries of tanks other than ballast water tanks	TK-1	2	$P_{ls-1} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{(1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	TK-2	4	$P_{ls-ST} - P_S^{(1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	
	TK-3	1	$P_{ls-3} - P_S^{(1)}$	$\max(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-I	-

AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95

Tabla 8: Cálculo σ_{hg} chapa de doble fondo

βa	αa	σ_{hg} HSM-1	σ_{hg} HSM-2	ReH	Ca-max
1.05	0.5	78,30	-82.72	235	0.95

$$C_a = 1.05 - 0.5 \frac{|78.3|}{235} = 0.883 \text{ (HSM - 1)}$$

$$C_a = 1.05 - 0.5 \frac{|-82.72|}{235} = 0.874 \text{ (HSM - 2)}$$

Ahora nos falta conocer el valor de las presiones. Como sobre esta cubierta se encuentra un tanque de combustible, el procedimiento será el mismo que el aplicado sobre el fondo cuando se consideraban los tanques de lastre:

DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 6:

The internal pressure due to liquid acting on any load point of a tank and ballast hold boundary, in kN/m^2 , for the static plus dynamic (S + D) design load scenarios shall be derived for each dynamic load case and shall be taken as:

$$P_{in} = P_{ts} + P_{ld} \text{ but not less than 0}$$

- Cálculo de la Presión Estática del tanque, P_{ls} (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 6):

1.2.1 Normal operations at sea

The static pressure, in kN/m^2 , in tanks and ballast holds for normal operations at sea, shall be taken as:

$$P_{ls-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z) + P_{PV} \quad \text{for tanks arranged with pressure relief valves}$$

$$P_{ls-1} = \rho_L g (z_{top} - z) \quad \text{for other cases.}$$

Se trata de un buque de lastre ubicado en el doble fondo por lo que no tiene válvulas de alivio:

$$P_{ls-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z)$$

f_{cd} = factor for joint probability of occurrence of liquid cargo density and maximum sea state in 25 years design life, to be taken as:

$f_{cd} = 0.88$ for strength assessment with FE analysis of cargo tanks filled with for oil or oil products cargo with $\rho_L \leq 1.025 \text{ t/m}^3$

$f_{cd} = 1.0$ for other cases

$$f_{cd} = 1$$

$$\rho_L = 1.025 \text{ (pese a que el tanque es de diésel con una densidad de } 0.84 \frac{t}{m^3}$$

no se deberá tomar una densidad inferior a 1.025)

$$g = 9.81$$

$$z_{top} = 6.1 \text{ (se corresponde con la altura del punto más elevado del tanque)}$$

$$z = 1.4 \text{ (altura del doble fondo)}$$

Por tanto,

$$P_{ls-1} = 47.26 \frac{kN}{m^2}$$

- Cálculo de la Presión Dinámica del tanque, Pld (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 6):

El reglamento nos facilita la siguiente expresión:

$$P_{ld} = f_{cd}\rho_L[a_z(z_0 - z) + f_{ull-l}a_x(x_0 - x) + f_{ull-t}a_y(y_0 - y)]$$

Algunos valores ya se conocen gracias a que se calcularon previamente:

$$f_{cd} = 1$$

$$\rho_L = 1.025$$

$$f_{ull-l} = 0.62$$

$$f_{ull-t} = 0.67$$

Los puntos x_0, y_0 y z_0 son las coordenadas del punto de referencia. Y el punto de referencia debe ser aquel punto con el mayor valor de V_j , calculado para todos los puntos que definen el límite superior del tanque:

$$V_j = a_x(x_j - x_G) + a_y(y_j - y_G) + (a_z + g)(z_j - z_G)$$

Donde,

x_j, y_j y z_j son las coordenadas del punto j en el límite superior del tanque. El reglamento nos aporta un método simplificado para calcular estos puntos asumiendo una forma de área rectangular para la parte superior del tanque:

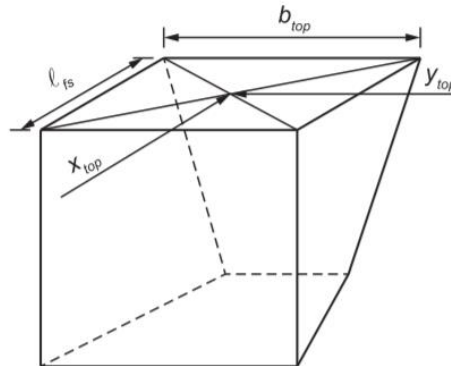
$$x_j = x_{top} \pm 0.5l_{fs}$$

$$y_j = y_{top} \pm 0.5b_{top}$$

$$z_j = 6.1 \text{ m (altura del tanque)}$$

Los valores de x_{top} , y_{top} , l_{fs} y b_{top} se encuentran definidos en la siguiente imagen:

- x_{top} = X coordinate, in m, of the centre of the rectangular area A_{top} at the top of the tank or the ballast hold hatch coaming
- y_{top} = Y coordinate, in m, of the centre of the rectangular area A_{top} at the top of the tank or the ballast hold hatch coaming
- A_{top} = $\ell_{fs} \cdot b_{top}$: the area of an rectangular shape at the top of the tank or the ballast hold hatch coaming, in m^2 .

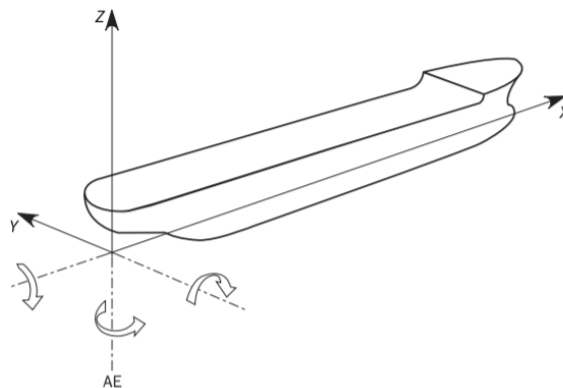


El sistema de referencia se muestra en la imagen a continuación:

3.6 Reference coordinate system

The ship's geometry, motions, accelerations and loads are defined with respect to the following right-hand coordinate system, see Figure 4:

- origin = at the intersection among the longitudinal plane of symmetry of ship, the aft end of L and the baseline.
- X axis = longitudinal axis, positive forwards
- Y axis = transverse axis, positive towards port side
- Z axis = vertical axis, positive upwards.



Por tanto,

$$x_{top} = 61.6 \text{ m (distancia longitudinal al centro del tanque)}$$

$$y_{top} = 2.34 \text{ m (distancia desde crujía al centro del tanque)}$$

$$l_{fs} = 11.2 \text{ m}$$

$$b_{top} = 4.68 \text{ m}$$

$$x_{j-1} = 67.2$$

$$x_{j-2} = 56$$

$$y_{j-1} = 4.68$$

$$y_{j-2} = 0$$

Las coordenadas x_G , y_G y z_G hacen referencia al centro de gravedad del tanque:

$$x_G = 61.6 \text{ m}$$

$$y_G = 2.34 \text{ m}$$

$$z_G = 3.75 \text{ m}$$

Ahora tenemos que calcular las aceleraciones a_x , a_y y a_z . (DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 3):

3.2.1 Longitudinal acceleration

The longitudinal acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_x = f_\beta \left[\left(-C_{xG} g \sin \varphi \right) + C_{xS} a_{surge} + C_{xP} a_{pitch} (z - R) \right]$$

3.2.2 Transverse acceleration

The transverse acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_y = f_\beta \left[C_{yG} g \sin \theta + C_{yS} a_{sway} - C_{yR} a_{roll} (z - R) \right]$$

3.2.3 Vertical acceleration

The vertical acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_z = f_\beta \left[C_{zH} a_{heave} + C_{zR} a_{roll} y - C_{zP} a_{pitch} (x - 0.45L) \right]$$

Los valores de los coeficientes y aceleraciones ya son conocidos:

$$f_\beta = 1$$

$$a_{surge} = 1.6298 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{sway} = 2.567 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{heave} = 4.8379 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\theta = 34^\circ$$

$$a_{roll} = 0.0844 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$\varphi = 14.53^\circ$$

$$a_{pitch} = 0.1 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

En este caso como aún no conocemos cual es el caso más desfavorable, consideraremos HSM-1 y HSM-2:

Load component		LCF	HSM-1	HSM-2
Hull girderloads	M_{WV}	C_{WV}	-1	1
	Q_{WV}	C_{QW}	$-1.0 f_{tp}$	$1.0 f_{tp}$
	M_{WH}	C_{WH}	0	0
	M_{WT}	C_{WT}	0	0
Longitudinal accelerations	a_{surge}	C_{XS}	$0.3 - 0.2f_T$	$0.2f_T - 0.3$
	$a_{pitch-x}$	C_{XP}	-0.6	0.6
	$g \sin\phi$	C_{XG}	$0.4f_T + 0.4$	$-0.4f_T - 0.4$
Transverse accelerations	a_{sway}	C_{YS}	0	0
	a_{roll-y}	C_{YR}	0	0
	$g \sin\theta$	C_{YG}	0	0
Vertical accelerations	a_{heave}	C_{ZH}	$0.8f_T - 0.15$	$0.15 - 0.8f_T$
	a_{roll-z}	C_{ZR}	0	0
	$a_{pitch-z}$	C_{ZP}	-0.6	0.6

Tabla 9: Coeficientes HSM-1, HSM-2 para chapa de doble fondo

Caoeficiente	HSM-1	HSM-2
CxG	0,6	-0,6
CxS	0,4	-0,4
CxP	-0,337	0,637
CyG	0	0
CyS	0	0
CyR	0	0
CzH	0,35	-0,35
CzR	0	0
CzP	-0,7	0,7

$$R = 4.4 \text{ m}$$

Las coordenadas x, y y z:

$$x = 61.6 \text{ m (posición de la cuaderna maestra)}$$

$$y = 0 \text{ m (chapa de crujía)}$$

$$z = 1.4 \text{ m (chapa de fondo)}$$

Con estos datos ya podemos calcular a_x , a_y y a_z , lo que nos permite calcular V_j para conocer el punto de referencia del que sacaremos las coordenadas x_0 , y_0 y z_0 .

$$V_j = a_x(x_j - x_G) + a_y(y_j - y_G) + (a_z + g)(z_j - z_G)$$

Si se realizan los cálculos para los dos casos de carga, en ambos casos se obtiene que el valor más elevado de V_j es para V_{j-2} y por tanto el punto de referencia será:

$$x_0 = 56 \text{ m}$$

$$y_0 = 0 \text{ m}$$

$$z_0 = 6.1 \text{ m}$$

Finalmente, ya podemos calcular el valor de P_{ld} con todos los parámetros calculados:

$$P_{ld} = f_{cd}\rho_L[a_z(z_0 - z) + f_{ull-l}a_x(x_0 - x) + f_{ull-t}a_y(y_0 - y)]$$

Para HSM-1:

$$P_{ld} = 1 * 1.025 * [1.39(1.4 - 1.4) + 0.62 * (-4.67)(56 - 61.6) + 0.67 * 0(0 - 0)] \\ = 23.32 \text{ kN/m}^2$$

Para HSM-2:

$$P_{ld} = 1 * 1.025 * [-1.39(1.4 - 1.4) + 0.62 * (4.57)(56 - 61.6) + 0.67 * 0(0 - 0)] \\ = -22.99 \text{ kN/m}^2$$

Por tanto, para el escantillonado del doble fondo, el caso más restrictivo es HSM-1:

$$P = P_{ls-1} + P_{ld} = 47.26 + 23.32 = 70.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Y finalmente, el espesor mínimo debido a las presiones:

$$t = 0.0158 * 1 * 580 \sqrt{\frac{|70.58|}{0.883 * 235}} = 5.4 \text{ mm}$$

Si comparamos los espesores mínimos obtenidos por los dos métodos, podemos concluir que el espesor de la chapa de fondo será:

Espesor mínimo	Espesor mínimo en función de P
7.5 mm	5.4 mm

Finalmente, podemos concluir que el espesor de la chapa del fondo será:

$$t = 7.5 \text{ mm}$$

5.1.2.2 Chapa de costado

Para calcular el espesor de la chapa de costado en función de las presiones, procederemos como hemos hecho previamente para fondo y el doble fondo siguiendo la siguiente expresión:

$$t = 0.0158\alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde,

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}$$

$$a = 2800 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{450}{2.1 * 2800} = 1.09 > 1$$

$$\alpha_p = 1$$

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

$$\sigma_{hg} = -11.7918(z - 3.52) - 25.144(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} (HSM - 1)$$

$$\sigma_{hg} = 17.52598(z - 3.52) + 21.491(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} (HSM - 2)$$

$$|\sigma_{hg}| \leq \sigma_{hg-perm}$$

$$\sigma_{hg-perm} = \frac{205}{k} = 205$$

Nos quedaremos con valor de σ_{hg} siempre y cuando sea menor que 205 N/mm², si no $\sigma_{hg} = 205 \frac{N}{mm^2}$. Las chapas del costado tendrán un requisito de espesor mínimo diferente en función de la altura sobre la línea base sobre la que se encuentre, o lo que es lo mismo en función de la cantidad de agua que hay sobre ella, la cual disminuye a medida que nos acercamos a la línea de flotación. Para calcular uno de los puntos más desfavorables, calcularemos la chapa del costado a una altura de z=1.4 metros.

Los coeficientes se obtuvieron de la tabla para un criterio de aceptación AC-II como nos indica la tabla de las presiones:

Structural member	Design load set	Design load scenario	Load component ⁴⁾	Draught	Acceptance criteria	Loading condition for definition of GM and k _r
External shell and exposed deck	SEA-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	P _S + P _W , P _D	T _{SC}	AC-II	Full load condition

AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95

Tabla 10: Cálculo σ_{hg} chapa de costado

β_a	α_a	σ_{hg} HSM-1	σ_{hg} HSM-2	ReH	Ca-max
1.05	0.5	78,30	-112,80	235	0.95

$$C_{a(HSM-1)} = 1.05 - 1 * \frac{|78.30|}{235} = 0.883$$

$$C_{a(HSM-2)} = 1.05 - 1 * \frac{|112.8|}{235} = 0.810$$

Ahora nos falta conocer las presiones, en el costado solo actuarán las cargas de mar:

- Cálculo de la Presión Hidrostática, P_s (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 5):

Table 1 Hydrostatic pressure, PS

Location	Hydrostatic pressure, P_S , in kN/m^2
$z \leq T_{LC}$	$\rho g (T_{LC} - z)$
$z > T_{LC}$	0

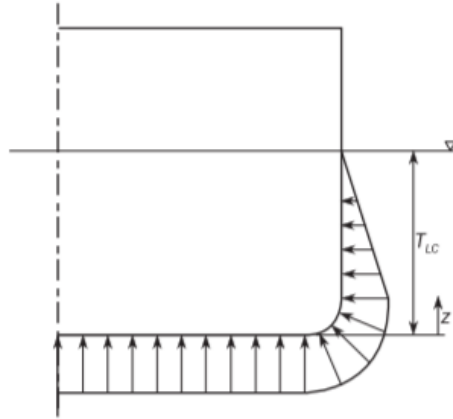


Figure 1 Transverse distribution of hydrostatic pressure Ps

Consideraremos que $T_{LC} = T_{SC} = 6.5 \text{ m}$. Y nos encontramos a una altura $z=1.4$:

$$P_S = \rho g (T_{SC} - z)$$

$$\rho = 1.025 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_S = 1.025 * 9.81 * (6.5 - 1.4) = 51.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Cálculo de la Presión Hidrodinámica, P_W (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 5):

	Wave pressure, in kN/m^2		
Load case	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
HSM-1	$P_W = \max\{-P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$	$P_W = P_{W, WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0.0$
HSM-2	$P_W = \max\{P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$		

Si hacemos el cálculo para la condición de carga HSM-1:

$$P_W = \max(-P_{HS}; \rho g(z - T_{SC}))$$

En primer lugar, calculamos $\rho g(z - T_{SC})$ porque podemos hacer el cálculo directo:

$$\rho g(z - T_{SC}) = 1.025 * 9.81 * (1.4 - 6.5) = -51.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

A continuación, es necesario calcular P_{HS} :

$$P_{HS} = C_{fT} f_{ps} f_{nl} f_h k_a k_p f_{yz} C_W \sqrt{\frac{L_0 + \lambda - 125}{L}}$$

Donde:

$$C_{f_T} = f_T + 0.5 - (0.7f_T - 0.2)C_B$$

$$f_T = \frac{T_{LC}}{T_{SC}} = 1$$

$$C_{f_T} = 1 + 0.5 - (0.7 - 0.2) * 0.688 = 1.16$$

$$f_{ps} = 1$$

$$f_{nl} = 0.9$$

$$f_h = 3.0(1.21 - 0.66f_T) = 1.65$$

$$k_a = 1$$

$$k_p = 1$$

$$f_{yz} = C_x * \frac{z}{T_{LC}} + (2 - C_x)f_{yB} + 1$$

$$C_x = 1.5 - \frac{|x - 0.5L|}{L} = 1.5 - \frac{|61.6 - 0.5 * 146.09|}{146.09} = 1.42$$

$$f_{yB} = \frac{2y}{B_x} = 1$$

$$f_{yz} = 1.88$$

$$C_W = 8.84 \text{ (calculado previamente)}$$

$$L_0 = L \text{ sin ser menor de 110 metros}$$

$$L_0 = L = 146.09 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.6 \left(1 + \frac{2}{3}f_T \right) L = 146.09$$

$$P_{HS} = 30.59 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto, $P_w = \max(-P_{HS}; \rho g(z - T_{SC}))$ será el máximo de los siguientes valores:

$$-P_{HS} = -30.59 \frac{kN}{m^2}$$

$$\rho g(z - T_{SC}) = -30.59 \frac{kN}{m^2}$$

Y finalmente para HSM-1:

$$P_w = -30.59 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_s + P_w = 20.688 \frac{kN}{m^2}$$

Si realizamos el mismo cálculo para la condición HSM-2:

$$P_w = \max(P_{HS}; \rho g(z - T_{SC}))$$

$$P_{HS} = 30.59 \frac{kN}{m^2}$$

$$\rho g(z - T_{SC}) = -30.59 \frac{kN}{m^2}$$

Y por tanto,

$$P_w = 30.59 \frac{kN}{m^2}$$

$$P_s + P_w = 81.87 \frac{kN}{m^2}$$

Y por tanto el espesor de la chapa de costado a una altura de 1.4 metros sobre la línea base es:

$$t = 0.0158 * 1 * 450 \sqrt{\frac{|81.87|}{0.810 * 235}} = 4.7 \text{ mm}$$

Espesor mínimo	Espesor mínimo en función de P
9.20 mm	4.7 mm

$$t = 9.2$$

La chapa que conforma el costado de la superestructura tendrá un espesor menor dado que las cargas que tiene que soportar son menores. Por tanto, aunque se conoce el espesor mínimo requerido de la chapa, debemos confirmar que no supera el espesor mínimo debido a la presión:

Structural member	Design load set	Design load scenario	Load component ⁴⁾	Draught	Acceptance criteria	Loading condition for definition of GM and k_r
External shell and exposed deck	SEA-1	2	$P_s + P_w, P_D$	T_{sc}	AC-II	Full load condition
Superstructure side			$\max(P_w; P_{sl})$			

Por tanto, como se puede observar en la tabla necesitamos calcular P_w y P_{sl} que vienen expuestas en Pt. 3 Ch. 4 Sec. 5 del reglamento. Se calcularán para el punto sobre la cubierta 4 a 11.8 metros m:

- Cálculo de la Presión Hidrodinámica, P_w (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 5):

Table 2 Hydrodynamic pressures for HSM load cases

Load case	Wave pressure, in kN/m^2		
	$z \leq T_{LC}$	$T_{LC} < z \leq h_W + T_{LC}$	$z > h_W + T_{LC}$
HSM-1	$P_W = \max\{-P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$	$P_W = P_{W,WL} - \rho g(z - T_{LC})$	$P_W = 0.0$
HSM-2	$P_W = \max\{P_{HS}; \rho g(z - T_{LC})\}$		

$$P_W = 0$$

- Cálculo de la Presión exterior sobre superestructura, P_{sl} (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 5):

3.3 Sides of superstructures

3.3.1 The design pressure for the external sides of superstructures, in kN/m^2 , shall not be taken less than:

$$P_{SI} = 3C_W(C_B + 0.7) - 2(z - T_{sc})$$

Por tanto,

$$P_{SI} = 3 * 8.84 * (0.688 + 0.7) - 2 * (11.8 - 6.5) = 26.2 \text{ kN/m}^2$$

Y $P = P_{SI} = 26.2 \text{ kN/m}^2$, con lo que el espesor resulta:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde,

$$b = 550 \text{ mm}$$

$$\alpha_p = 1$$

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} = 0.9$$

$$R_{eH} = 235$$

$$t = 2.5 \text{ mm}$$

Después de esta comprobación, sabemos que los espesores mínimos de la chapa de costado son los siguientes:

Tabla 11: Espesores mínimos chapas de costado

Elemento	Espesor (mm)
Chapa de costado hasta 11.1	9,20
Chapa de costado entre 11.1 y 13,4	7,70
Chapa de costado entre 13,4 y 15,7	6,20
Chapa de costado por encima de 15,7	5,50

5.1.2.3 Chapa de cubierta

A continuación, calcularemos el espesor mínimo en función de la presión para las chapas de cubierta. Consideraremos la cubierta principal que se encuentra a una altura de 8,8 metros sobre la línea base y está destinada a habitación y zonas de cocina y gambuzas.

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde,

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}$$

$$a = 2800 \text{ mm}$$

$$b = 580 \text{ mm}$$

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{2800}{2.1 * 2800} = 1.01 > 1$$

$$\alpha_p = 1$$

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

$$\sigma_{hg} = -11.7918(z - 3.52) - 25.144(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} (HSM - 1)$$

$$\sigma_{hg} = 17.52598(z - 3.52) + 21.491(z - 3.52) \frac{N}{mm^2} (HSM - 2)$$

$$|\sigma_{hg}| \leq \sigma_{hg-perm}$$

$$\sigma_{hg-perm} = \frac{205}{k} = 205$$

Nos quedaremos con el σ_{hg} calculado siempre y cuando sea menor que 205 N/mm², si no $\sigma_{hg} = 205 \frac{N}{mm^2}$. En este caso, z=8.8 metros.

Los coeficientes se obtuvieron de la tabla para un criterio de aceptación AC-II como nos indica la tabla de las presiones:

Decks	SEA-1	$P_D^{6)}$	T_{SC}	Full load	AC-II
	UDL-1	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	-	Ballast	AC-II
	UDL-2	P_{dl-s} F_{U-s}	-	-	AC-I

AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95

Tabla 12: Cálculo σ_{hg} chapa de cubierta

β_a	α_a	σ_{hg} HSM-1	σ_{hg} HSM-2	ReH	Ca-max
1.05	0.5	-195,02	205,00	235	0.95

$$C_{a(HSM-1)} = 1.05 - 0.5 \frac{|-195.02|}{235} = 0.635$$

$$C_{a(HSM-2)} = 1.05 - 0.5 \frac{|205.00|}{235} = 0.614$$

El siguiente caso, es calcular las presiones. Consideraremos cargas distribuidas para el cálculo. Esta cubierta se trata de una cubierta no expuesta:

P_{dl} es la presión debida a cargas distribuidas sobre la cubierta. Donde P_{dl-s} es la presión estática y P_{dl-d} la presión dinámica (Pt. 3 Ch. 4 Sec. 5)

En el DNV-GL Pt. 3Ch. 4 Sec. 6 nos indica lo siguiente:

2.1.1 General

The loads on non-exposed decks including inner bottom are given in [Sec.5 \[2.3\]](#), except accommodation decks, wheelhouse decks and platforms in machinery space. For these decks loads defined in [\[2.2\]](#) and [\[2.3\]](#) are applicable.

2.2.1 If a distributed load is carried on a deck, the static and dynamic pressures due to this distributed load shall be considered. The distributed loads shall be calculated according to [Sec.5 \[2.3.1\]](#).

The static distributed load P_{dl-s} , including selfweight, shall be defined by the designer without being less than:

- 2.5 kN/m² (0.25 t/m² distributed mass) for accommodation decks, tween decks and platforms in general
- 3.5 kN/m² (0.35 t/m² distributed mass) for wheelhouse deck
- 8 kN/m² (0.8 t/m² distributed mass) for platforms in machinery space.

Por tanto, para cubiertas destinadas a habilitación, como se trata en nuestro caso, la presión estática tiene un valor igual:

$$P_{dl-s} = 2.5 \frac{kN}{m^2}$$

La presión dinámica se calcula por la siguiente fórmula:

$$P_{dl-d} = P_{dl-s} * \frac{a_z}{g}$$

Donde a_z es la aceleración vertical y está definida en el Ch. 4 Sec. 3 y se calcula igual que hemos hecho para el doble fondo.:

$$a_{z-env} = \sqrt{a_{heave}^2 + \left[\left(0.95 + e^{-\frac{L}{15}} \right) a_{pitch-z} \right]^2 + (1.2a_{roll-z})^2}$$

$$a_{pitch-z} = a_{pitch}(1.08x - 0.45L)$$

$$a_{roll-z} = a_{roll}y$$

Como las coordenadas de $x=61.6$ m e $y=0$ (calculamos el punto de crujía) no varían en relación con el doble fondo, a_z sigue manteniendo el mismo valor:

$$a_{z-env} = 4.84 \frac{m}{s^2}$$

Con lo que la presión dinámica resulta:

$$P_{dl-d} = 2.5 * \frac{4.84}{9.81} = 1.23$$

$$P = 2.5 + 1.23 = 3.73 \frac{kN}{m^2}$$

Como el valor de las presiones obtenidas para los dos casos de carga no varían, el caso más negativo coincidirá con HSM-2.

Por tanto, el espesor mínimo debido a la presión en las cubiertas será:

$$t = 0.0158 * 1 * 580 * \sqrt{\frac{|3.76|}{0.614 * 235}} = 1.4 \text{ mm}$$

Además, es necesario tener en cuenta de que la cubierta 8 se trata de la cubierta de cierre y por tanto, debe de ser estanca al agua:

Collision bulkhead	FD-1	5	P_{hs}	T_{DAH}	AC-I	-
Watertight boundaries other than collision bulkhead					AC-III	
Exposed decks and non-exposed decks and platforms with distributed load	UDL-1 ²⁾⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	UDL-2 ²⁾⁵⁾	1 ⁵⁾	P_{dl-s} F_{U-s}	-	AC-I	-
Decks and hatch covers/ RO/RO equipments with wheel loading	WL-1 ²⁾	2	P_{wt-2}	$T_{BAL}^{3)}$	AC-II	Normal ballast condition ³⁾
	WL-2 ²⁾	1	P_{wt-1}	-	AC-I	-

Como se puede comprobar en la tabla aquellas chapas que formen parte de un elemento estanco al agua deben ser capaz de resistir la presión sobre el elemento en condición de inundación, P_{fs} , que según expone el DNV Pt. 3 Ch. 4 tiene el siguiente valor:

$$P_{fs} = \rho g h_{fs}$$

h_{fs} es la altura de presión en metros para la condición de inundación con un valor:

$$h_{fs} = \max\{Z_{fd} - Z; Y \sin \theta_{dam} + Z_{dam} - Z\} \cos \theta_{dam}$$

Donde Z_{fd} es la coordenada z en metros de la cubierta de francobordo en el lado de la sección transversal considerada, Z_{dam} la coordenada z de la línea de flotación de equilibrio más profunda a crujía en la condición de inundación y θ_{dam} el ángulo entre la línea de flotación de equilibrio más profunda y la línea base. Como no se ha llevado a cabo el estudio de estabilidad en averías se considerará una altura de presión de 3 metros al tratarse de la distancia entre la cubierta principal y la cubierta superior.

$$P_{fs} = \rho g h_{fs} = 9.81 * 1.025 * 3 = 30.16 \frac{kN}{m^2}$$

Para esta condición de carga cambian los valores de los coeficientes:

AC-III	Other longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.10	0.50	1.00
		Transverse stiffened plating	1.10	1.00	1.00
	Transverse boundaries of ballast water tanks				
	Transverse boundaries between tanks and dry spaces or dry cargo holds not intended to carry liquid or bulk cargo		1.15	0.00	1.15
	Other members		1.00	0.00	1.00
	Longitudinal watertight boundaries ¹⁾	Longitudinal stiffened plating	1.25	0.50	1.15
		Transverse stiffened plating	1.15	1.00	1.15
	Other watertight boundaries ¹⁾		1.15	0.00	1.15

1) Only applicable for flooding pressure

Tabla 13: Cálculo σ_{hg} chapa de cubierta de cierre

βa	αa	σ_{hg} HSM-1	σ_{hg} HSM-2	ReH	Ca-max
1.25	0.5	-195,02	205,00	235	1.15

$$C_{a(HSM-1)} = 1.25 - 0.5 \frac{|-195.02|}{235} = 0.835$$

$$C_{a(HSM-2)} = 1.25 - 0.5 \frac{|205.00|}{235} = 1.1$$

Por tanto, el nuevo espesor calculado para el caso más desfavorable resulta:

$$t = 0.0158 * 1 * 580 * \sqrt{\frac{|30.16|}{0.835 * 235}} = 3.6 \text{ mm}$$

Y si comparamos con los obtenidos para las cubiertas previamente:

Tabla 14: Espesores mínimos cubierta

Elemento	Espesor (mm)	Espesor mínimo en función de P (mm)
Cubiertas hasta cubierta principal	7,40	3.6
Cubierta separación tanques	6,70	3.6
Cubiertas habilitación	4,00	1.5

5.1.2.4 Chapa de mamparo

Calcularemos el mamparo longitudinal del doble casco ubicado a una distancia de 9.6 metros de crujía. Se considerará el punto a una altura de 1.4 metros. Para ello se seguirá el mismo procedimiento que se ha seguido hasta ahora para el cálculo del resto de elementos:

$$t = 0.0158 \alpha_p b \sqrt{\frac{|P|}{C_a R_{eH}}}$$

Donde,

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{b}{2.1a}$$

$$a = 2800 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$\alpha_p = 1.2 - \frac{610}{2.1 * 2800} = 1.12 > 1$$

$$\alpha_p = 1$$

$$C_a = \beta_a - \alpha_a \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$$

$$\sigma_{hg} = -11.7918(z - 3.52) - 25.144(z - 3.52) \frac{N}{\text{mm}^2} (HSM - 1)$$

$$\sigma_{hg} = 17.52598(z - 3.52) + 21.491(z - 3.52) \frac{N}{\text{mm}^2} (HSM - 2)$$

$$|\sigma_{hg}| \leq \sigma_{hg-perm}$$

$$\sigma_{hg-perm} = \frac{205}{k} = 205$$

Nos quedaremos con el σ_{hg} calculado siempre y cuando sea menor que 205 N/mm^2 , si no $\sigma_{hg} = 205 \frac{N}{\text{mm}^2}$. Calcularemos el espesor de la chapa de mamparo para la chapa que se encuentra más a fondo del tanque. Es decir, sobre la cubierta de doble fondo a $z=1,4 \text{ m}$.

Los coeficientes se obtuvieron de la tabla para un criterio de aceptación AC-II como nos indica la tabla de las presiones:

AC-II	Longitudinal members	Longitudinal stiffened plating	1.05	0.50	0.95
		Transverse stiffened plating	1.05	1.00	0.95
	Other members		0.95	0.00	0.95

Tabla 15: Cálculo σ_{hg} chapa de mamparo

β_a	α_a	$\sigma_{hg} \text{ HSM-1}$	$\sigma_{hg} \text{ HSM-2}$	R_{eH}	$C_a\text{-max}$
1.05	0.5	78,30	-82.72	235	0.95

$$C_{a(HSM-1)} = 1.05 - 0.5 * \frac{|78.3|}{235} = 0.883$$

$$C_{a(HSM-2)} = 1.05 - 0.5 * \frac{|82.82|}{235} = 0.874$$

Para calcular las presiones volvemos a la tabla de presiones:

Boundaries of water ballast tanks and ballast holds	WB-1 ⁵⁾	2 ⁵⁾	$P_{ls-1} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-2	3	$P_{ls-2} + P_{ld} - (P_S + P_W)^{1)}$	T_{BAL}	AC-II	Normal ballast condition
	WB-3	4	$\max(P_{ls-4}; P_{ls-ST}) - P_S^{1)}$	$\min(T_{BAL}; 0.25T_{SC})$	AC-III	-
	WB-4 ⁵⁾	1 ⁵⁾	$P_{ls-3} - P_S^{1)}$	T_{BAL}	AC-I	-

Sobre el tanque solo actúan las presiones del combustible transportado en el tanque Almacén 1:

$$P = P_{ls-1} + P_{ld}$$

Para calcular las presiones tanto estáticas como hidrostáticas del tanque, se sigue el mismo procedimiento que se llevó a cabo en el apartado de la chapa de fondo.

- Cálculo de la Presión Estática del tanque, Pls (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 6):

1.2.1 Normal operations at sea

The static pressure, in kN/m², in tanks and ballast holds for normal operations at sea, shall be taken as:

$$P_{ls-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z) + P_{PV} \quad \text{for tanks arranged with pressure relief valves}$$

$$P_{ls-1} = \rho_L g (z_{top} - z) \quad \text{for other cases.}$$

El tanque no tiene válvulas de alivio por lo que se emplea la siguiente fórmula:

$$P_{ls-1} = f_{cd} \rho_L g (z_{top} - z)$$

$$f_{cd} = 1$$

$$\rho_L = 1.025 \text{ (densidad del fluido pero no menos a } 1.025 \text{ t/m}^3\text{)}$$

$$g = 9.81$$

$$z_{top} = 3.75 \text{ m (se corresponde con la altura del punto más elevado del tanque)}$$

$$z = 1.4 \text{ (altura de la chapa del mamparo que se está considerando)}$$

$$P_{ls-1} = 23.63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Cálculo de la Presión Dinámica del tanque, Pld (DNV-GL Pt. 3 Ch.4 Sec. 6):

El reglamento nos facilita la siguiente expresión:

$$P_{ld} = f_{cd} \rho_L [a_z(z_0 - z) + f_{ull-l} a_x(x_0 - x) + f_{ull-t} a_y(y_0 - y)]$$

Que como ya empleamos previamente, ya conocemos el valor de sus parámetros.

$$f_{cd} = 1$$

$$\rho_L = 1.025$$

$$f_{ull-l} = 0.62$$

$$f_{ull-t} = 0.67$$

Para conocer x_0, y_0 y z_0 que son las coordenadas del punto de referencia:

$$V_j = a_x(x_j - x_G) + a_y(y_j - y_G) + (a_z + g)(z_j - z_G)$$

Donde,

x_j, y_j y z_j son las coordenadas del punto j en el límite superior del tanque:

$$x_j = x_{top} \pm 0.5l_{fs}$$

$$y_j = y_{top} \pm 0.5b_{top}$$

$$z_j = 3.75 \text{ m (altura del tanque)}$$

$$x_{top} = 61.6 \text{ (distancia longitudinal al centro del tanque)}$$

$$y_{top} = 7.14 \text{ m (distancia desde crujía al centro del tanque)}$$

$$l_{fs} = 11.2 \text{ m}$$

$$b_{top} = 4.92 \text{ m}$$

$$x_{j-1} = 67.2 \text{ m}$$

$$x_{j-2} = 56 \text{ m}$$

$$y_{j-1} = 9.6 \text{ m}$$

$$y_{j-1} = 4.68 \text{ m}$$

Las coordenadas x_G, y_G y z_G hacen referencia al centro de gravedad del tanque:

$$x_G = 61.6 \text{ m}$$

$$y_G = 7.14 \text{ m}$$

$$z_G = 3.75 \text{ m}$$

Ahora tenemos que calcular las aceleraciones a_x, a_y y a_z . (DNV-GL Pt. 3 Ch. 4 Sec. 3):

3.2.1 Longitudinal acceleration

The longitudinal acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_x = f_\beta \left[(-C_{xG} g \sin \varphi) + C_{xS} a_{surge} + C_{xP} a_{pitch} (z - R) \right]$$

3.2.2 Transverse acceleration

The transverse acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_y = f_\beta \left[C_{yG} g \sin \theta + C_{yS} a_{sway} - C_{yR} a_{roll} (z - R) \right]$$

3.2.3 Vertical acceleration

The vertical acceleration at any position for each dynamic load case, in m/s^2 , shall be taken as:

$$a_z = f_\beta \left[C_{zH} a_{heave} + C_{zR} a_{roll} y - C_{zP} a_{pitch} (x - 0.45L) \right]$$

Pero ahora ya conocemos el valor de las aceleraciones, los coeficientes y el valor de la coordenada vertical del centro de rotación del buque, R:

$$f_\beta = 1$$

$$a_{surge} = 1.6298 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{sway} = 2.567 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$a_{heave} = 4.8379 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\theta = 34^\circ$$

$$a_{roll} = 0.0844 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$\varphi = 14.53^\circ$$

$$a_{pitch} = 0.1 \frac{rad}{s^2}$$

Tabla 16: Coeficientes HSM-1, HSM-2 para mamparo

Coeeficiente	HSM-1	HSM-2
CxG	0,6	-0,6
CxS	0,4	-0,4
CxP	-0,337	0,637
CyG	0	0
CyS	0	0
CyR	0	0
CzH	0,35	-0,35
CzR	0	0
CzP	-0,7	0,7

$$R = 4.4 \text{ m}$$

Las coordenadas x, y y z:

$$x = 61.6 \text{ m}$$

$$y = 9.6 \text{ m}$$

$$z = 1.4 \text{ m}$$

Con estos datos ya podemos calcular ax, ay y az para los dos casos de carga:

Tabla 17: Cálculo aceleraciones

Aceleraciones	HSM-1	HSM-2
a_X	-4,671	4,577
a_y	0,000	0,000
a_Z	1,390	-1,390

Ahora es necesario volver a V_j para conocer el punto de referencia del que sacaremos las coordenadas x_0, y_0 y z_0 .

$$V_j = a_x(x_j - x_G) + a_y(y_j - y_G) + (a_z + g)(z_j - z_G)$$

Tabla 18: Cálculo V_j

	HSM-1	HSM-2
Vj-1	-26,156	25,629
Vj-2	26,156	-25,629

Para HSM-1 el valor más elevado de V_j es para V_{j-2} y por tanto el punto de referencia será:

$$x_0 = 56 \text{ m}$$

$$y_0 = 4.68 \text{ m}$$

$$z_0 = 3.75 \text{ m}$$

Finalmente, ya podemos calcular el valor de Pld con todos los parámetros calculados:

$$P_{ld} = f_{cd}\rho_L[a_z(z_0 - z) + f_{ull-l}a_x(x_0 - x) + f_{ull-t}a_y(y_0 - y)]$$

$$P_{ld} = 19.97 \frac{kN}{m^2}$$

Conocidas todas las presiones, ya podemos calcular la presión total:

$$P = P_{ls-1} + P_{ld} = 43.6 \frac{kN}{m^2}$$

Y finalmente, el espesor mínimo debido a las presiones:

$$t = 0.0158 * 1 * 450 \sqrt{\frac{|43.60|}{0.883 * 235}} = 3.30 \text{ mm}$$

Si llevamos a cabo el mismo procedimiento, pero esta vez para HSM-2:

El valor más elevado de V_j es para V_{j-1} y por tanto el punto de referencia será:

$$x_0 = 67.2 \text{ m}$$

$$y_0 = 9.6 \text{ m}$$

$$z_0 = 3.75 \text{ m}$$

Finalmente, ya podemos calcular el valor de P_{ld} con todos los parámetros calculados:

$$P_{ld} = f_{cd}\rho_L[a_z(z_0 - z) + f_{ull-l}a_x(x_0 - x) + f_{ull-t}a_y(y_0 - y)]$$

$$P_{ld} = 12.94 \text{ kN/m}^2$$

Conocidas todas las presiones, ya podemos calcular la presión total:

$$P = P_{ls-1} + P_{ld} = 36.57 \frac{kN}{m^2}$$

Y finalmente, el espesor mínimo debido a las presiones para HSM- 2:

$$t = 0.0158 * 1 * 450 \sqrt{\frac{|41.19|}{0.874 * 235}} = 3 \text{ mm}$$

Tras comprobar los dos casos de carga, se observa que el caso más restrictivo es HSM-1 y so comparamos los espesores mínimos obtenidos por los dos métodos, podemos concluir que el espesor de la chapa de fondo será:

Espesor mínimo	Espesor mínimo en función de P
6,7	3.3

$$t = 6.7 \text{ mm}$$

5.1.2.5 Resumen espesores chapas

Hay que considerar que a todos los espesores mínimos obtenidos hay que sumarle la adicción de espesor debido a la corrosión que puede sufrir el componente a lo largo de su vida útil. Este valor añadido a cada elemento se obtiene de la siguiente tabla (DNV-GL Pt. 3Ch. 3 Sec. 3):

1.2.1 The total corrosion addition, t_c in mm, for both sides of the structural member is obtained by the following formula:

$$t_c = t_{c1} + t_{c2} + t_{res}$$

1.2.2 For an internal member within a given compartment, the total corrosion addition, t_c is obtained from the following formula:

$$t_c = 2t_{c1} + t_{res}$$

where t_{c1} is the value specified in Table 1 for one side exposure to that compartment.

1.2.3 The total corrosion addition, t_c in mm, for compartment boundaries and internal members made from stainless steel, or aluminium shall be taken as:

$$t_c = t_{res} = 0.5$$

Table 1 Corrosion addition for one side of a structural member

Compartment type	Structural member	t_{c1} or t_{c2}
Tanks for cargo oil and liquid chemicals	All members	1.0
Dry bulk, container and general cargo holds	Lower part ¹⁾ for vessels with Grab(3-X) notation	2.5
	Lower part ²⁾ for other vessels	1.0
	Other members	0.5
External surfaces	All members	0.5
Tanks for ballast water/sea water	All members	1.0
Tanks for fresh water, fuel oil and lube oil	All members	0.0
Tanks for brine, urea, bilge water, drain storage and chain locker	All members	1.0
Other tanks ⁴⁾	All members	0.5
Accommodation spaces	All members	0.0
Void, dry spaces and compartment types not mentioned above ^{3) 6)}	Upper surface of decks or bottom plate of the compartment ⁵⁾	0.5
	Elsewhere	0.0
Stainless steel and aluminium (independent of compartment type)	All members	0.0

1) Lower part includes the bottom of hold and other structure within a height of 3.0 m above the bottom of hold, e.g. inner bottom. The bottom of hold is defined as the lowest horizontal boundaries of the hold.
2) Lower part includes the bottom of hold and other structure within a height of 1.5 m above the bottom of hold, e.g. inner bottom. The bottom of hold is defined as the lowest horizontal boundaries of the hold.
3) Applicable for the spaces containing membrane or independent cargo tanks of gas carriers. But membrane and independent tank themselves are not covered by this part of the rules, see Pt.5 Ch.7.
4) Applicable also for cargo tanks only intended to carry fresh water, fuel oil, lube oil, RSW or mud.
5) Inclusive upper surface of horizontal stringers in double hull and double bulkhead constructions.
6) Also applicable for semi-enclosed compartments, e.g. open ro-ro spaces.

Por tanto,

Tabla 19: Espesores chapas

Elemento	Espesor (mm)	Adicción por corrosión (m)	Espesor (mm)
Chapa de fondo	9,70	2,5	13,0
Traca de pantoque	9,70	2,5	13,0
Quilla	12,40	2,5	15,0
Chapa de doble fondo	7,50	1,5	9,0
Chapa de costado hasta 11.1	9,20	1,5	11,0
Chapa de costado entre 11.1 y 13,4	7,70	1,5	10,0
Chapa de costado entre 13,4 y 15,7	6,20	1,5	8,0
Chapa de costado por encima de 15,7	5,50	1,5	7,0
Cubiertas hasta cubierta principal	7,40	0,5	8,0
Cubierta separación tanques	6,70	1,5	9,0
Cubiertas habitación	4,00	0,5	5,0
Mamparo tanques	6,70	1,5	9,0
Otros mamparos hasta Cub. Principal	6,00	0,5	7,0
Otros mamparos habitación	4,50	0,5	5,0

5.2 Refuerzos longitudinales

5.2.1 Longitudinales de fondo

Para realizar el cálculo de los longitudinales de fondo y doble fondo, se procederá como se ha hecho anteriormente con las chapas:

- 1) Primero se calculará el espesor mínimo requerido por el reglamento
- 2) Se calculará el espesor mínimo en función de las presiones
- 3) Se le sumará al espesor mínimo obtenido la adicción por corrosión

Los espesores mínimos requeridos se obtienen de la siguiente tabla (DNV-GL Pt. 3 Ch. 6 Sec. 3):

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

Element	Location	Net thickness
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary, boundary of cargo holds for dry bulk cargo, single strength deck and shell up to freeboard deck	$4.5 + 0.01 L_1$
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.0
	Other structure	$4.5 + 0.005 L_1$
Tripping brackets		$4.5 + 0.01 L_1$

En el caso de los longitudinales de fondo y doble fondo se encuentran en los límites de un tanque de agua de lastre. Por tanto:

$$t = 4.5 + 0.01 * L_1$$

Como ya se ha demostrado previamente $L_1 = L = 146.94 m$. Por tanto, el espesor mínimo de estos refuerzos es:

$$t = 4.5 + 0.01 * 146.09 = 5.96 mm$$

Para calcular el espesor mínimo en función de las presiones es necesario recurrir al reglamento apartado 3, capítulo 6, sección 5:

$$t_w = \frac{C_m f_{shr} |P| s l_{shr}}{d_{shr} C_T \tau_{eH}}$$

Donde,

f_{shr} es el factor de distribución de la fuerza de corte cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla:

Table 1 Definition of f_{shr}

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	All stiffeners
f_{shr}	0.5	0.4	0.7	0.5

$$f_{shr} = 0.5$$

C_T es el coeficiente de esfuerzos cortantes permisibles que tiene un valor de 0.9 en función de la siguiente tabla:

Table 2 Stiffeners, definition of C_t

Acceptance criteria	Structural member	C_t
AC-I	All stiffeners	0.75
AC-II	All stiffeners	0.90
AC-III	All stiffeners	0.95

s es la separación entre refuerzos: $s = 580 \text{ mm}$

l_{shr} es el alcance de corte efectivo y se encuentra definido en el Ch. 3 Sec. 7 El reglamento especifica que su valor no debe ser superior a:

$$l_{shr} \leq l - \frac{s}{2000}$$

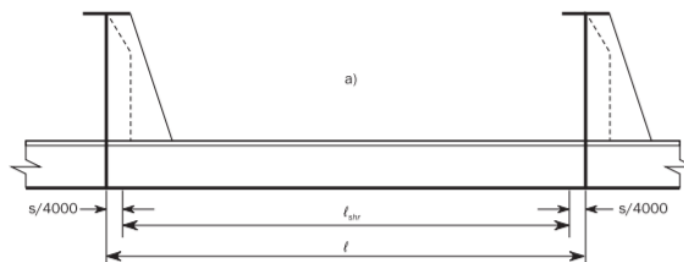
Donde s es la separación de refuerzos secundarios y l es la separación entre refuerzos primarios:

$$s = 580 \text{ mm}$$

$$l = 2.8 \text{ m}$$

Por tanto, tomaremos el valor más desfavorable:

$$l_{shr} = 2.8 - \frac{580}{2000}$$



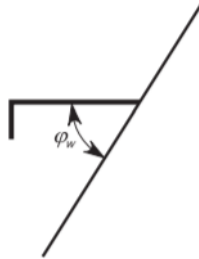
$$l_{shr} = 2.51 \text{ m}$$

d_{shr} es la profundidad de corte efectiva, en mm.

The effective shear depth of stiffeners, in mm, shall be taken as:

$$\begin{aligned} d_{shr} &= h_{stf} + t_p & \text{for } 75^\circ \leq \varphi_w \leq 90^\circ \\ d_{shr} &= (h_{stf} + t_p) \sin \varphi_w & \text{for } \varphi_w < 75^\circ \end{aligned}$$

Por tanto, siendo φ_w el ángulo que se muestra en la siguiente imagen:

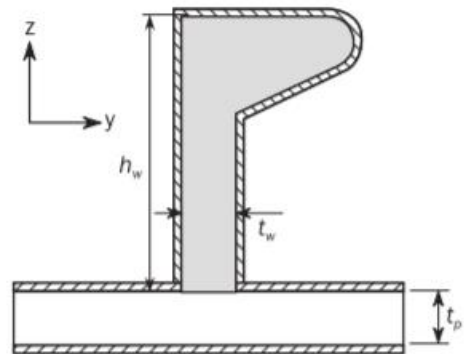
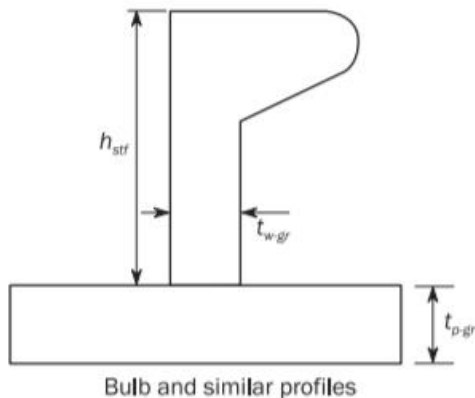


$$d_{shr} = h_{stf} + t_p$$

Siendo,

h_{stf} la altura en mm del refuerzo valor que de momento desconocemos y que tomaremos inicialmente con un valor estimado de 220 mm por tratarse de un valor intermedio como podemos ver en la tabla de perfiles.

t_p es el espesor de la chapa que como se ha calculado previamente para el fondo es de 10 mm sin tener en cuenta la adición por corrosión.



$$d_{shr} = 220 + 10 = 230 \text{ mm}$$

P es la presión calculada sobre el fondo previamente:

$$P = 81.59 \frac{kN}{m^2}$$

Para conocer el valor de τ_{eH} .

$$\tau_{eH} = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135.68$$

En este punto nos queda conocer el valor del coeficiente de esfuerzo axial combinado, esfuerzo de flexión y esfuerzo cortante que para buques de eslora mayor a 90 metros toma el siguiente valor:

$$C_m = 0.71 \left(1 - \left(\frac{0.75}{C_{xt}} * \frac{Z}{Z_a} \right)^{e0} \right)^{\frac{1}{e0}}$$

Donde

$$C_{xt} = 0.52 * C_{st} + 0.56$$

$$C_{st} = 0.5 \text{ for } C_s \leq 0.5$$

$$= C_s \text{ for } 0.5 < C_s < 0.95$$

$$= 0.95 \text{ for } C_s \geq 0.95$$

Table 3 Stiffeners, definition of C_s

Structural member	Sign of hull girder stress, σ_{hg}	Lateral pressure acting on	Coefficient C_s
For continuous stiffeners	Tension (positive)	Stiffener side	$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$ but not to be taken greater than C_{s-max}
	Compression (negative)	Plate side	
	Tension (positive)	Plate side	$C_s = f_m \left(\beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \right)$ but not to be taken greater than C_{s-max}
	Compression (negative)	Stiffener side	

$$C_s = f_m * \left(\beta_s - \alpha_s \left(\frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} \right) \right)$$

Table 5 Stiffeners, definition of f_{bdg} and f_m

Coefficient	Acceptance criteria	For continuous stiffeners with fixed ends		For continuous stiffeners with one fixed end and one simply supported end	For non-continuous stiffeners with simply supported ends
		Horizontal stiffeners and upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners
f_{bdg}	AC-I, AC-II, AC-III	12.00	10.00	8.00	8.00
f_m	AC-I	2.00	2.33	1.77	-
	AC-II, AC-III	1.60	1.86	1.42	

Acceptance criteria	Structural member	β_s	α_s	C_{s-max}
	Other members	0.85	0.00	0.85
AC-II	Longitudinal members	1.10	1.00	0.95
	Other members	0.95	0.00	0.95

$$C_s = 1.6 * \left(1.1 - 1 \left(\frac{|-137.34|}{235} \right) \right) = 0.82$$

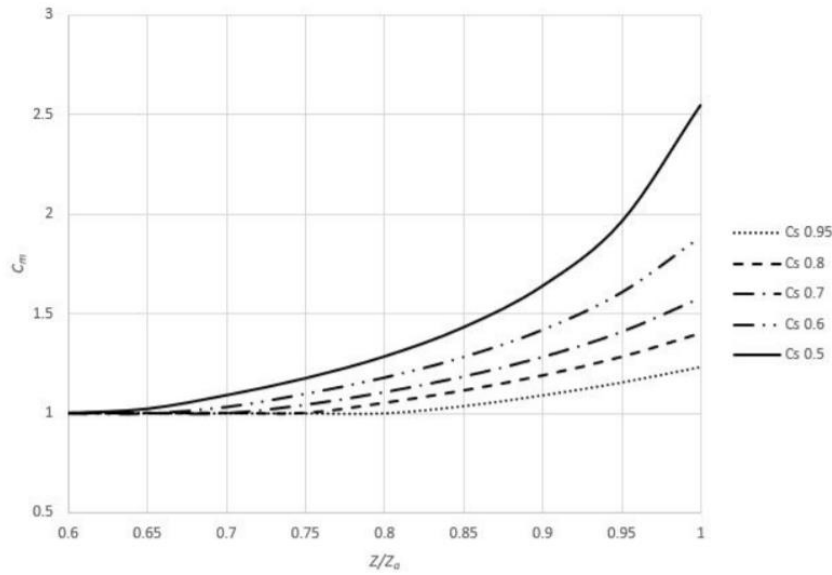
Entonces,

$$C_{st} = C_s = 0.82$$

Y

$$C_{xt} = 0.52 * 0.82 + 0.56 = 0.989$$

Por el momento al no conocer más datos, nos guiaremos por las siguientes gráficas aportadas por el reglamento para obtener el valor de C_m :



Y para $C_s=0.82$, y $\frac{Z}{Z_a} = 1$ tomaremos $C_m=1.4$.

Finalmente, ya podemos calcular el espesor mínimo en función de las presiones:

$$t_w = \frac{1.4 * 0.5 * 81.59 * 580 * 2.51}{230 * 0.9 * 135.68} = 2.96 \text{ mm}$$

Y si comparamos con el espesor mínimo obtenido previamente, podemos concluir que $t = 6 \text{ mm}$. Además, hay que sumar la adición por corrosión, que al igual que para las chapas se obtiene de la siguiente tabla (DNV-GL Pt. 3Ch. 3 Sec. 3):

1.2.1 The total corrosion addition, t_c in mm, for both sides of the structural member is obtained by the following formula:

$$t_c = t_{c1} + t_{c2} + t_{res}$$

1.2.2 For an internal member within a given compartment, the total corrosion addition, t_c is obtained from the following formula:

$$t_c = 2t_{c1} + t_{res}$$

where t_{c1} is the value specified in Table 1 for one side exposure to that compartment.

1.2.3 The total corrosion addition, t_c in mm, for compartment boundaries and internal members made from stainless steel, or aluminium shall be taken as:

$$t_c = t_{res} = 0.5$$

Table 1 Corrosion addition for one side of a structural member

Compartment type	Structural member	t_{c1} or t_{c2}
Tanks for cargo oil and liquid chemicals	All members	1.0
Dry bulk, container and general cargo holds	Lower part ¹⁾ for vessels with Grab(3-X) notation	2.5
	Lower part ²⁾ for other vessels	1.0
	Other members	0.5
External surfaces	All members	0.5
Tanks for ballast water/sea water	All members	1.0
Tanks for fresh water, fuel oil and lube oil	All members	0.0
Tanks for brine, urea, bilge water, drain storage and chain locker	All members	1.0
Other tanks ⁴⁾	All members	0.5
Accommodation spaces	All members	0.0
Void, dry spaces and compartment types not mentioned above ^{3) 6)}	Upper surface of decks or bottom plate of the compartment ⁵⁾	0.5
	Elsewhere	0.0
Stainless steel and aluminium (independent of compartment type)	All members	0.0

1) Lower part includes the bottom of hold and other structure within a height of 3.0 m above the bottom of hold, e.g. inner bottom. The bottom of hold is defined as the lowest horizontal boundaries of the hold.
2) Lower part includes the bottom of hold and other structure within a height of 1.5 m above the bottom of hold, e.g. inner bottom. The bottom of hold is defined as the lowest horizontal boundaries of the hold.
3) Applicable for the spaces containing membrane or independent cargo tanks of gas carriers. But membrane and independent tank themselves are not covered by this part of the rules, see Pt.5 Ch.7.
4) Applicable also for cargo tanks only intended to carry fresh water, fuel oil, lube oil, RSW or mud.
5) Inclusive upper surface of horizontal stringers in double hull and double bulkhead constructions.
6) Also applicable for semi-enclosed compartments, e.g. open ro-ro spaces.

Es decir, hay que sumar 2.5 mm.

$$t = 8.5 \text{ mm}$$

El siguiente paso es calcular el módulo mínimo del refuerzo:

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}}$$

Donde,

f_u = factor for unsymmetrical profiles, to be taken as:
= 1.00 for flat bars and symmetrical profiles (T-profiles)
= 1.03 for bulb profiles
= 1.15 for unsymmetrical profiles (L-profiles)

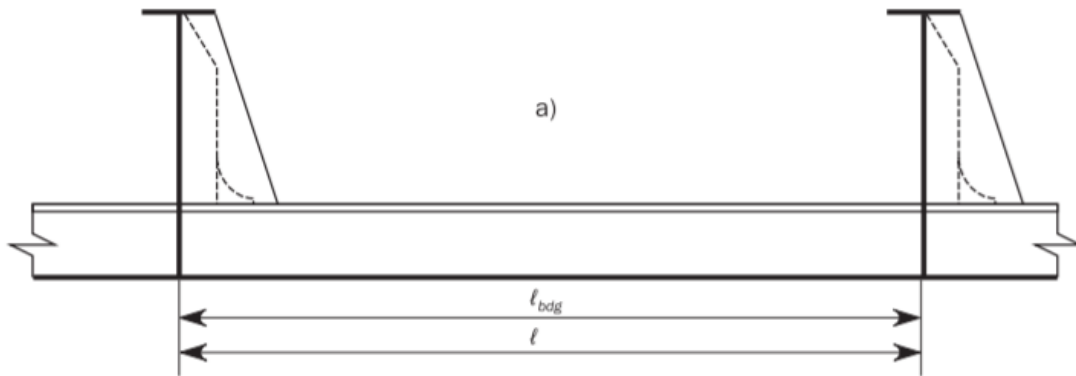
$$f_u = 1.03$$

Coefficient	Acceptance criteria	For continuous stiffeners with fixed ends		For continuous stiffeners with one fixed end and one simply supported end	For non-continuous stiffeners with simply supported ends
		Horizontal stiffeners and upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners
f_{bdg}	AC-I, AC-II, AC-III	12.00	10.00	8.00	8.00

f_{bdg} se puede obtener de la tabla anterior:

$$f_{bdg} = 12$$

l_{abg} es la longitud o tramo de flexión efectivo en el refuerzo.



Por tanto, $l_{ddg} = l = 2.8 \text{ m}$.

Como ya se calculó previamente: $C_s = 0.82$

Y por tanto el módulo resulta:

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}} = 164.28 \text{ cm}^3$$

Ahora conociendo el espesor y el módulo mínimo se acude a la tabla de catálogo de perfiles de bulbo y escogemos aquel que cumple nuestros requisitos:

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e cm	I _x cm ⁴	W _x * cm ³
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6–12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	157
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	166
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	177

El perfil, por lo tanto, será el seleccionado en la anterior tabla con un espesor de 9 mm y un módulo de 166 cm³. Se escogió este perfil porque es el perfil de menor tamaño que cumple los requisitos de espesor y módulo.

5.2.2 Longitudinales de doble fondo

Los espesores mínimos requeridos se obtienen de la siguiente tabla (DNV-GL Pt. 3 Ch. 6 Sec. 3):

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

Element	Location	Net thickness
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary, boundary of cargo holds for dry bulk cargo, single strength deck and shell up to freeboard deck	$4.5 + 0.01 L_1$
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.0
	Other structure	$4.5 + 0.005 L_1$
Tripping brackets		$4.5 + 0.01 L_1$

En el caso de los longitudinales de doble fondo se encuentran en los límites de un tanque de agua de lastre. Por tanto:

$$t = 4.5 + 0.01 * L_1$$

Como ya se ha demostrado previamente $L_1 = L = 146.09 \text{ m}$. Por tanto, el espesor mínimo de estos refuerzos es:

$$t = 4.5 + 0.01 * 146.09 = 5.96 \text{ mm}$$

Para calcular el espesor mínimo en función de las presiones es necesario recurrir al reglamento apartado 3, capítulo 6, sección 5:

$$t_w = \frac{C_m f_{shr} |P| s l_{shr}}{d_{shr} C_T \tau_{eH}}$$

Donde,

f_{shr} es el factor de distribución de la fuerza de corte cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla:

Table 1 Definition of f_{shr}

Coefficient	For continuous stiffeners with fixed end			For non-continuous stiffeners with simply supported ends
	Horizontal stiffeners	Upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	All stiffeners
f_{shr}	0.5	0.4	0.7	0.5

$$f_{shr} = 0.5$$

C_T es el coeficiente de esfuerzos cortantes permisibles que tiene un valor de 0.9 respecto a la siguiente tabla:

Table 2 Stiffeners, definition of C_t

Acceptance criteria	Structural member	C_t
AC-I	All stiffeners	0.75
AC-II	All stiffeners	0.90
AC-III	All stiffeners	0.95

s es la separación entre refuerzos: $s = 580 \text{ mm}$

l_{shr} es el alcance de corte efectivo y se encuentra definido en el Ch. 3 Sec. 7 El reglamento especifica que su valor no debe ser superior a:

$$l_{shr} \leq l - \frac{s}{2000}$$

Donde s es la separación de refuerzos secundarios y l es la separación entre refuerzos primarios:

$$s = 580 \text{ mm}$$

$$l = 2.8 \text{ m}$$

Por tanto, tomaremos el valor más desfavorecido:

$$l_{shr} = 2.8 - \frac{580}{2000}$$

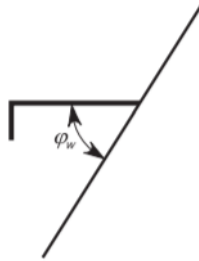
$$l_{shr} = 2.51 \text{ m}$$

d_{shr} es la profundidad de corte efectiva, en mm.

The effective shear depth of stiffeners, in mm, shall be taken as:

$$\begin{aligned} d_{shr} &= h_{stf} + t_p & \text{for } 75^\circ \leq \varphi_w \leq 90^\circ \\ d_{shr} &= (h_{stf} + t_p) \sin \varphi_w & \text{for } \varphi_w < 75^\circ \end{aligned}$$

Por tanto, siendo φ_w el ángulo que se muestra en la siguiente imagen:

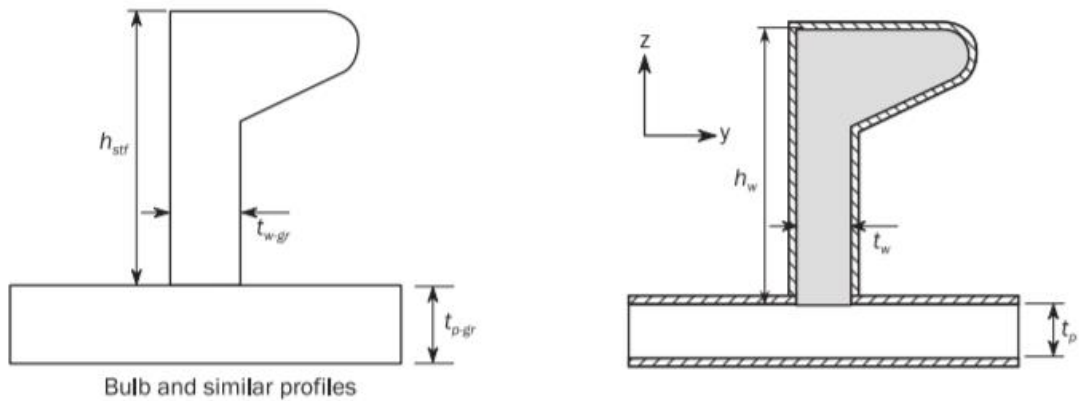


$$d_{shr} = h_{stf} + t_p$$

Siendo,

h_{stf} la altura en mm del refuerzo valor que de momento desconocemos y que tomaremos inicialmente con un valor estimado de 180 mm por ser la altura que obtuvimos para los longitudinales de fondo.

t_p es el espesor de la chapa que como se ha calculado previamente para el doble fondo es de 8 mm sin tener en cuenta la adición por corrosión.



$$d_{shr} = 180 + 8 = 188 \text{ mm}$$

P es la presión calculada sobre el fondo previamente:

$$\begin{aligned} P &= 70.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ \tau_{eH} &= \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135.68 \end{aligned}$$

Para el cálculo de C_m procedemos como hicimos en el caso de los longitudinales del fondo:

$$C_m = 0.71 \left(1 - \left(\frac{0.75}{C_{xt}} * \frac{Z}{Z_a} \right)^{e0} \right)^{\frac{1}{e0}}$$

Donde

$$C_{xt} = 0.52 * C_{st} + 0.56$$

$$C_{st} = 0.5 \text{ for } C_s \leq 0.5$$

$$= C_s \text{ for } 0.5 < C_s < 0.95$$

$$= 0.95 \text{ for } C_s \geq 0.95$$

Table 3 Stiffeners, definition of C_s

Structural member	Sign of hull girder stress, σ_{hg}	Lateral pressure acting on	Coefficient C_s
For continuous stiffeners	Tension (positive)	Stiffener side	$C_s = \beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}}$ but not to be taken greater than C_{s-max}
	Compression (negative)	Plate side	
	Tension (positive)	Plate side	$C_s = f_m \left(\beta_s - \alpha_s \frac{|\sigma_{hg}|}{R_{eH}} \right)$ but not to be taken greater than C_{s-max}
	Compression (negative)	Stiffener side	

$$C_s = \left(\beta_s - \alpha_s \left(\frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} \right) \right)$$

Acceptance criteria	Structural member	β_s	α_s	C_{s-max}
	Other members	0.85	0.00	0.85
AC-II	Longitudinal members	1.10	1.00	0.95
	Other members	0.95	0.00	0.95

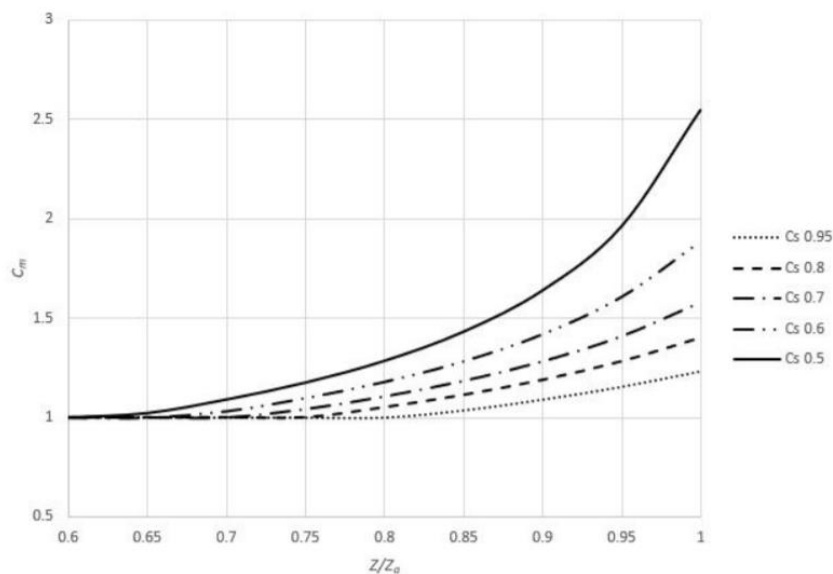
$$C_s = \left(1.1 - 1 \left(\frac{|78.3|}{235} \right) \right) = 0.767$$

Entonces,

$$C_{st} = C_s = 0.767$$

Y

$$C_{xt} = 0.52 * 0.767 + 0.56 = 0.959$$



Y para $C_s=0.767$, y $\frac{Z}{Z_a} = 1$ tomaremos $C_m=1.5$.

Finalmente, ya podemos calcular el espesor mínimo en función de las presiones:

$$t_w = \frac{1.5 * 0.5 * 70.58 * 580 * 2.51}{188 * 0.9 * 135.68} = 3.36 \text{ mm}$$

Y si comparamos con el espesor mínimo obtenido previamente, podemos concluir que $t = 6 \text{ mm}$ más 2.5 mm por la adición de corrosión.

$$t = 8.5 \text{ mm}$$

El siguiente paso es calcular el módulo mínimo del refuerzo:

$$z = \frac{f_u * P * S * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}}$$

Donde,

- f_u = factor for unsymmetrical profiles, to be taken as:
 = 1.00 for flat bars and symmetrical profiles (T-profiles)
 = 1.03 for bulb profiles
 = 1.15 for unsymmetrical profiles (L-profiles)

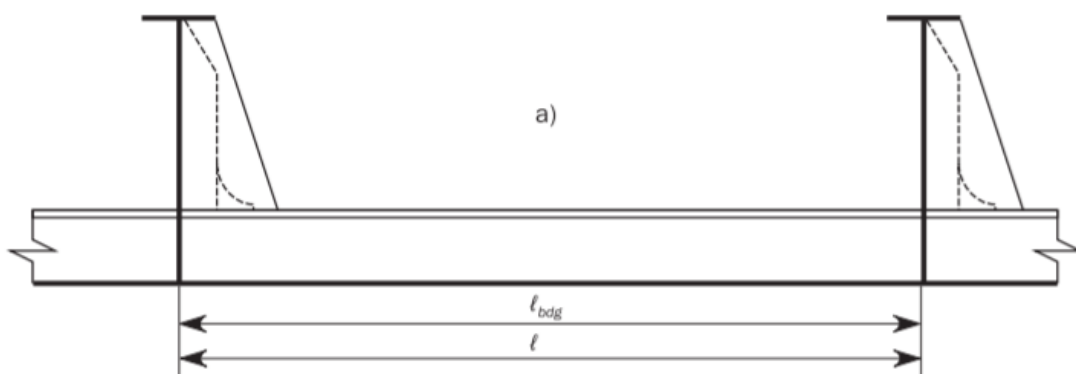
$$f_u = 1.03$$

Coefficient	Acceptance criteria	For continuous stiffeners with fixed ends		For continuous stiffeners with one fixed end and one simply supported end	For non-continuous stiffeners with simply supported ends
		Horizontal stiffeners and upper end of vertical stiffeners	Lower end of vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners	Horizontal and vertical stiffeners
f_{bdg}	AC-I, AC-II, AC-III	12.00	10.00	8.00	8.00
f_m	AC-I	2.00	2.33	1.77	-
	AC-II, AC-III	1.60	1.86	1.42	

f_{bdg} se puede obtener de la tabla anterior:

$$f_{bdg} = 12$$

l_{abg} es la longitud o tramo de flexión efectivo en el refuerzo.



Por tanto, $l_{ddg} = l = 2.8 \text{ m}$.

$$C_s = 0.76$$

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{ddg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}} = 152.88 \text{ cm}^3$$

Ahora conociendo el espesor y el módulo mínimo se acude a la tabla de catálogo de perfiles de bulbo y escogemos aquel que cumple nuestros requisitos:

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e cm	I _x cm ⁴	W _x * cm ³
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6–12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	157
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	166
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	177

El perfil, por lo tanto, será el seleccionado en la anterior tabla con un espesor de 9 mm y un módulo de 166 cm³.

5.2.3 Longitudinales costado

Los espesores mínimos requeridos se obtienen de la siguiente tabla (DNV-GL Pt. 3 Ch. 6 Sec. 3). Calcularemos los longitudinales de costado hasta la cubierta de francobordo.

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

Element	Location	Net thickness
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary, boundary of cargo holds for dry bulk cargo, single strength deck and shell up to freeboard deck	$4.5 + 0.01 L_1$
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.0
	Other structure	$4.5 + 0.005 L_1$
Tripping brackets		$4.5 + 0.01 L_1$

Por tanto:

$$t = 4.5 + 0.01 * L_1$$

Como ya se ha demostrado previamente $L_1 = L = 146.09 \text{ m}$. Por tanto, el espesor mínimo de estos refuerzos es:

$$t = 4.5 + 0.01 * 146.94 = 5.96 \text{ mm}$$

Para calcular el espesor mínimo en función de las presiones es necesario recurrir al reglamento apartado 3, capítulo 6, sección 5:

$$t_w = \frac{C_m f_{shr} |P| s l_{shr}}{d_{shr} C_T \tau_{eH}}$$

Donde, como ya hemos visto para el caso del fondo y del doble fondo:

$$f_{shr} = 0.5$$

$$C_T = 0.9$$

$$s = 450 \text{ mm}$$

$$l_{shr} \leq l - \frac{s}{2000}$$

$$l = 2.8 \text{ m}$$

Por tanto, tomaremos el valor más desfavorecido:

$$l_{shr} = 2.8 - \frac{550}{2000}$$

$$l_{shr} = 2.575 \text{ m}$$

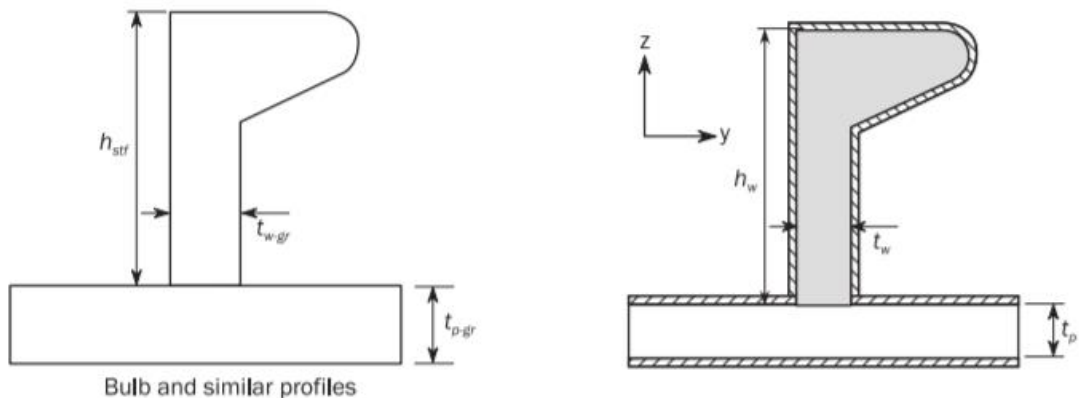
d_{shr} es la profundidad de corte efectiva, en mm.

$$d_{shr} = h_{stf} + t_p$$

Siendo,

h_{stf} la altura en mm del refuerzo valor que de momento desconocemos y que tomaremos inicialmente con un valor estimado de 180 mm por ser la altura que obtuvimos para los longitudinales de fondo.

t_p es el espesor de la chapa que como se ha calculado previamente para el costado es de 10 mm sin tener en cuenta la adición por corrosión.



$$d_{shr} = 180 + 10 = 190 \text{ mm}$$

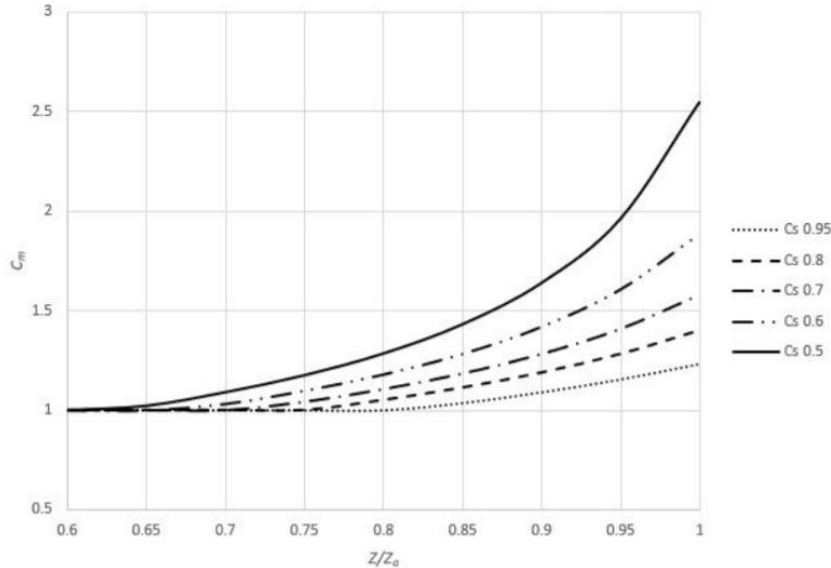
P es la presión calculada sobre el costado previamente:

$$P = 81.87 \frac{kN}{m^2}$$

Finalmente nos queda por conocer el valor de τ_{eH} .

$$\tau_{eH} = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135.68$$

C_m lo tomaremos como el valor más restrictivo presente en la gráfica:



$$C_m = 2.5$$

Finalmente, ya podemos calcular el espesor mínimo en función de las presiones:

$$t_w = \frac{2.5 * 0.5 * 81.87 * 450 * 2.575}{190 * 0.9 * 135.68} = 5.1mm$$

Y si comparamos con el espesor mínimo obtenido previamente, podemos concluir que $t = 6mm$ más 0.5 mm por la adición de corrosión.

$$t = 6.5mm$$

El siguiente paso es calcular el módulo mínimo del refuerzo:

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}}$$

Donde,

$$f_u = 1.03$$

$$f_{bdg} = 12$$

$$l_{ddg} = l = 2.8m.$$

$$c_s = fm * (\beta_s - \alpha_s \left(\frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} \right)) = 1.6 \left(1.10 - 1 * \left(\frac{112.8}{235} \right) \right) = 0.992 > 0.95 \rightarrow C_s = 0.95$$

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}} = 111 cm^3$$

Para calcular los refuerzos longitudinales de la superestructura se debe tener en cuenta los siguientes valores:

$$t = 4 \text{ mm}$$

$$t_w = \frac{2.5 * 0.5 * 26.2 * 550 * 2.525}{187 * 0.95 * 135.68} = 1.96 \text{ mm}$$

$$z = \frac{1.03 * 26.2 * 550 * 2.8^2}{12 * 0.95 * 235} = 43.43 \text{ cm}^3$$

Ahora conociendo el espesor y el módulo mínimo se acude a la tabla de catálogo de perfiles de bulbo y escogemos aquel que cumple nuestros requisitos:

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e cm	I _x cm ⁴	W _x * cm ³
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6–12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126

Por tanto, el perfil seleccionado será una llanta de bulbo de 8 mm de espesor y un módulo de 118 cm³ para el costado del casco y un perfil de 8mm de espesor y un módulo de 45cm³.

5.2.4 Longitudinales de cubierta

El procedimiento para calcular el espesor de los longitudinales de cubierta es el seguido hasta ahora para el resto de los refuerzos longitudinales. Recordemos que estamos calculando el espesor de los longitudinales con forma de llanta de bulbo para la cubierta principal que se encuentra a una altura de 8.8 metros sobre la línea base.

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

Element	Location	Net thickness
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary, boundary of cargo holds for dry bulk cargo, single strength deck and shell up to freeboard deck	4.5 + 0.01 L ₁
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.0
	Other structure	4.5 + 0.005 L ₁
Tripping brackets		4.5 + 0.01 L ₁

Como nuestro buque tiene dos cubiertas continuas por encima de $0.7 \cdot D$ sobre la línea base ($0.7 \cdot 8.8 = 6.16$) el espesor mínimo de los refuerzos longitudinales de la cubierta principal es:

$$t = 4 \text{ m}$$

Para calcular el espesor mínimo en función de las presiones:

$$t_w = \frac{C_m f_{shr} |P| s l_{shr}}{d_{shr} C_T \tau_{eH}}$$

Donde, como ya se ha visto para el resto de los elementos:

f_{shr} es el factor de distribución de la fuerza de corte cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla:

$$C_T = 0.9$$

$$f_{shr} = 0.5$$

$$s = 580 \text{ mm}$$

$$l_{shr} \leq l - \frac{s}{2000}$$

$$l = 2.8 \text{ m}$$

Por tanto, tomaremos el valor más desfavorecido:

$$l_{shr} = 2.8 - \frac{580}{2000}$$

$$l_{shr} = 2.51 \text{ m}$$

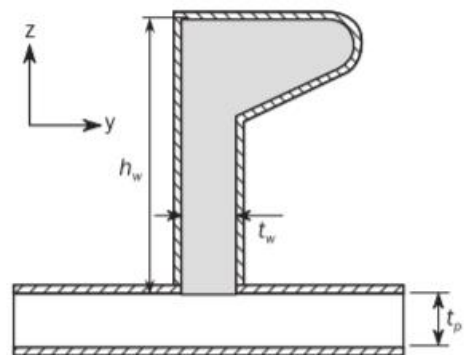
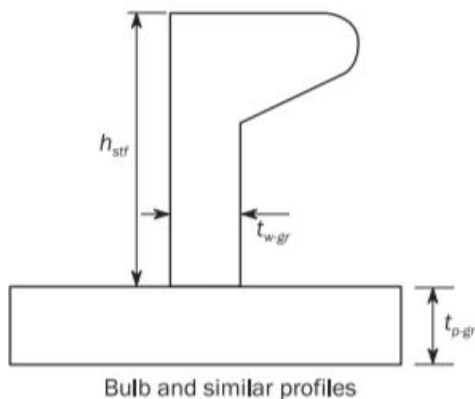
d_{shr} es la profundidad de corte efectiva, en mm.

$$d_{shr} = h_{stf} + t_p$$

Siendo,

h_{stf} la altura en mm del refuerzo valor que de momento desconocemos y que tomaremos inicialmente con un valor estimado de 120 mm por ser la altura que obtuvimos para los longitudinales de costado.

t_p es el espesor de la chapa que como se ha calculado previamente para el fondo es de 8 mm sin tener en cuenta la adición por corrosión.



$$d_{shr} = 120 + 8 = 128 \text{ mm}$$

Para obtener τ_{eH} :

$$\tau_{eH} = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135.68$$

P es la presión calculada sobre la cubierta previamente.

Consideraremos $C_m = 2.5$

Finalmente, ya podemos calcular el espesor mínimo en función de las presiones:

1. Cubiertas de habilitación

$$P = 3.73 \frac{kN}{m^2}$$
$$t_w = \frac{2.5 * 0.5 * 3.73 * 2.51}{128 * 0.9 * 135.68} = 0.43$$

2. Cubierta principal o de cierre

$$P = 30.16 \frac{kN}{m^2}$$
$$t_w = \frac{2.5 * 0.5 * 30.16 * 2.51}{128 * 0.9 * 135.68} = 3.5$$

Y si comparamos con el espesor mínimo obtenido previamente, podemos concluir que $t = 4 \text{ mm}$ a lo que hay que sumarle 0.5 mm por la adicción de corrosión:

$$t = 4.5 \text{ mm}$$

El siguiente paso es calcular el módulo mínimo del refuerzo:

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}}$$

Donde,

$$f_u = 1.03$$

$$f_{bdg} = 12$$

l_{dbg} es la longitud o tramo de flexión efectivo en el refuerzo.

$$l_{ddg} = l = 2.8 \text{ m.}$$

Finalmente nos falta por conocer C_s :

$$c_s = 1.1 - 1 * \left(\frac{195.02}{305} \right) = 0.46$$

Para hallar el módulo de los longitudinales de la cubierta principal:

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}} = 108 \text{ cm}^3$$

Para hallar el módulo de los longitudinales del resto de cubiertas de habilitación;

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}} = 13.57 \text{ cm}^3$$

Ahora conociendo el espesor y el módulo mínimo se acude a la tabla de catálogo de perfiles de bulbo y escogemos aquel que cumple nuestros requisitos:

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e cm	I _x cm ⁴	W _x * cm ³
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6–12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	157
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	166
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	177

Los perfiles seleccionados, por lo tanto, serán los seleccionados en la anterior tabla con un espesor de 5 mm y un módulo de 23cm³ para la cubiertas de la superestructura y de 7 mm de espesor con un módulo de 110 cm³ para las cubiertas hasta la cubierta principal.

5.2.5 Longitudinales de mamparo

Para calcular los longitudinales del mamparo seguiremos el mismo paso que se ha realizado hasta ahora.

Table 2 Minimum net thickness for stiffeners and tripping brackets

Element	Location	Net thickness
Stiffeners and attached end brackets	Tank boundary, boundary of cargo holds for dry bulk cargo, single strength deck and shell up to freeboard deck	$4.5 + 0.01 L_1$
	Structures in deckhouse and superstructure and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.0
	Other structure	$4.5 + 0.005 L_1$
Tripping brackets		$4.5 + 0.01 L_1$

Como el mamparo es el límite de un tanque de combustible:

$$t = 4.5 + 0.01 * L_1 m$$

$$L = 146.09 m$$

$$t = 4.5 + 0.01 * 146.09 = 5.976 mm$$

Para calcular el espesor mínimo en función de las presiones:

$$t_w = \frac{f_{shr} |P| s l_{shr}}{d_{shr} C_T \tau_{eH}}$$

Donde, como ya se ha visto para el resto de los elementos:

f_{shr} es el factor de distribución de la fuerza de corte cuyo valor se obtiene de la siguiente tabla:

$$C_T = 0.9$$

$$f_{shr} = 0.5$$

$$s = 450 \text{ mm}$$

$$l_{shr} \leq l - \frac{s}{2000}$$

$$l = 2.8 \text{ m}$$

Por tanto, tomaremos el valor más desfavorecido:

$$l_{shr} = 2.8 - \frac{580}{2000}$$

$$l_{shr} = 2.495 \text{ m}$$

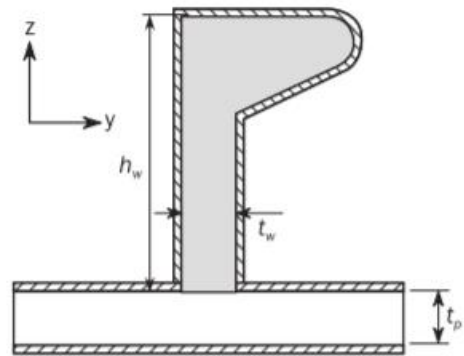
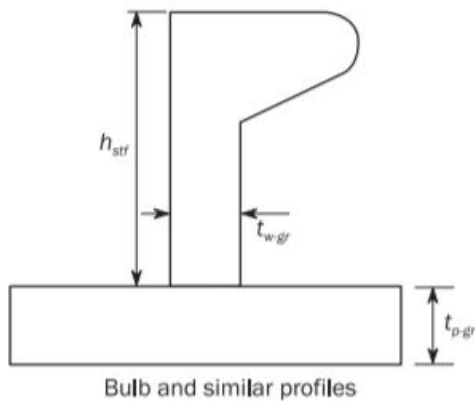
d_{shr} es la profundidad de corte efectiva, en mm.

$$d_{shr} = h_{stf} + t_p$$

Siendo,

h_{stf} la altura en mm del refuerzo valor que de momento desconocemos y que tomaremos inicialmente con un valor estimado de 120 mm por ser la altura que obtuvimos para los longitudinales de costado.

t_p es el espesor de la chapa que como se ha calculado previamente para el fondo es de 7 mm sin tener en cuenta la adición por corrosión.



$$d_{shr} = 120 + 7 = 127 \text{ mm}$$

P es la presión calculada sobre la cubierta previamente:

$$P = 43.6 \frac{kN}{m^2}$$

Finalmente nos queda por conocer el valor de τ_{eH} .

$$\tau_{eH} = \frac{R_{eH}}{\sqrt{3}} = \frac{235}{\sqrt{3}} = 135.68$$

Si suponemos $C_m = 2.5$

Finalmente, ya podemos calcular el espesor mínimo en función de las presiones:

$$t_w = 4 \text{ mm}$$

Y si comparamos con el espesor mínimo obtenido previamente, podemos concluir que $t = 6 \text{ mm}$ a lo que hay que sumarle 0.5 mm por la adicción de corrosión:

$$t = 6.5 \text{ mm}$$

El siguiente paso es calcular el módulo mínimo del refuerzo:

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}}$$

Donde,

$$f_u = 1.03$$

$$f_{bdg} = 12$$

l_{abg} es la longitud o tramo de flexión efectivo en el refuerzo.

$$l_{ddg} = l = 2.8 \text{ m.}$$

Finalmente nos falta por conocer C_s :

$$c_s = \beta_s - \alpha_s \left(\frac{\sigma_{hg}}{R_{eH}} \right) = 1.10 - 1 * \left(\frac{78.3}{235} \right) = 0.77$$

$$z = \frac{f_u * P * s * l_{bdg}^2}{f_{bdg} * C_s * R_{eH}} = 73.27 \text{ cm}^3$$

Ahora conociendo el espesor y el módulo mínimo se acude a la tabla de catálogo de perfiles de bulbo y escogemos aquel que cumple nuestros requisitos:

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e cm	I _x cm ⁴	W _x * cm ³
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6–12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126

El perfil, por lo tanto, será el seleccionado en la anterior tabla con un espesor de 7 mm y un módulo de 80 cm³.

5.2.6 Vagras

El doble fondo estará reforzado longitudinalmente por vagras, a parte de los longitudinales. A continuación, vamos a hacer el dimensionamiento de estos elementos. El dimensionamiento de los refuerzos primarios se encuentra en el DNV-GL Pt. 3 Ch. 6 Sec. 3. Donde, podemos encontrar una fórmula cuyos coeficientes aparecen recogidos en una tabla para los diferentes tipos de refuerzos:

$$t = a + bL_2\sqrt{k}$$

Table 3 Minimum net thickness for primary supporting members

Element	a	b
Bottom centreline girder and lower strake of centreline wash bulkhead	5.0	0.03
Other bottom girders	5.0	0.017
Floors	5.0	0.015
PSM at tank boundaries, boundaries of holds intended for cargo in bulk, single strength deck and shell up to freeboard deck	4.5	0.015 ²⁾
PSM in deckhouses and superstructures and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.5	0.01 ³⁾
Other PSM	4.5	0.01
PSM in peak tanks	5.0	0.025 ¹⁾
1) $bL_2 \leq 5.0$ 2) $bL_2 \leq 2.5$ for stringers in double side next to dry space not intended for cargo in bulk. 3) $bL_2 \leq 2.0$		

Como se puede observar en la tabla, para la vagra central los coeficientes son:

$$a = 5$$

$$b = 0.03$$

$$t = 5 + 0.03 * 146.09 * \sqrt{1} = 9.4 \text{ mm}$$

Para el resto de vagras del fondo:

$$a = 5$$

$$b = 0.017$$

$$t = 5 + 0.017 * 146.09 * \sqrt{1} = 7.5 \text{ mm}$$

A estos espesores habrá que sumar la adición por corrosión. Como se encuentran tanques de lastre en el doble fondo, habrá que sumar 2.5m. Y, por tanto,

$$t_{\text{vagra central}} = 9.4 + 2.5 = 12 \text{ mm}$$

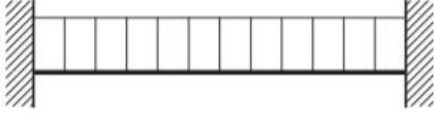
$$t_{\text{otras vagras}} = 7.5 + 2.5 = 10 \text{ mm}$$

Ahora calcularemos el módulo de la vagra:

$$z = 1000 \frac{|P| * S * l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_S R_{eH}}$$

Donde,

$$f_{bdg} = 12$$

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

l_{dbg} es la longitud o tramo de flexión efectivo en el refuerzo.

1.1.8 Effective bending span of primary supporting members

The effective bending span, l_{dbg} , in m, of a primary supporting member without end bracket shall be taken as the length of the member between supports.

Por tanto,

$$l_{dbg} = 2.8 \text{ m}$$

$$S = l = 2.8 \text{ m}$$

C_s = permissible stress coefficient to be taken as:
 $C_s = 0.70$ for AC-I
 $C_s = 0.85$ for AC-II and AC-III.

$$c_s = 0.85$$

$$R_{eH} = 235$$

Para calcular la presión acudimos a la tabla de cargas para los refuerzos primarios que nos aporta el DNV Pt.3 Ch. 6 Sec. 2:

Table 2 Design load sets for primary supporting members

Description	Design load set	Local load ^{1) 2) 3) 4)}	Draught	Loading condition for definition of GM and k_r	Acceptance criteria
External shell (excluding external decks)	SEA-1	$(P_s + P_w)^{9)}$	$T_{SC}^{7)}$	Full load	AC-II
	SEA-2	$P_s^{9)}$	T_{SC}	-	AC-I
	TK-1 or WB-1	$P_{B-1} + P_{ld} - P_s^{10)}$	$T_{BAL}^{8)}$	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	$P_{B-ST} - P_s^{11)}$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	$P_{B-3} - P_s$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-I
Tank boundaries (excluding external shell)	TK-1 or WB-1	$P_{B-1} + P_{ld}$	-	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	P_{B-ST}	-	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	P_{B-3}	-	-	AC-I
Watertight boundaries	FD-1	P_{fs}	-	-	AC-III AC-I ⁵⁾
Decks	SEA-1	$P_D^{6)}$	T_{SC}	Full load	AC-II
	UDL-1	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	-	Ballast	AC-II
	UDL-2	P_{dl-s} F_{U-s}	-	-	AC-I
Superstructure side	SEA-1	$\max(P_w; P_{SI})$	T_{SC}	Full load	AC-II

Comprobaremos que presión es mayor, si la presión ejercida por la acción del mar o por el tanque:

$$P_{ex} = P_s + P_w$$

Valor que se obtuvo previamente para el escantillonado de la chapa de fondo:

$$P_{ex} = P_s + P_w = 81.59 \frac{kN}{m^2}$$

El valor de la presión estática y dinámica del tanque también lo calculamos para la chapa de fondo:

$$P_{ls-1} + P_{ld} - P_s = 14.08 + 13.96 - 65.36 = -37.32 \text{ kN/m}^2$$

Con lo que el valor final de las presiones resulta:

$$P = 81.59 \frac{kN}{m^2}$$

Finalmente,

$$z = 1000 \frac{|81.59| * 2.8 * 2.8^2}{12 * 0.85 * 235} = 747.21 \text{ cm}^3$$

Como el módulo de una chapa de 1400 mm de ancho y 12 mm de espesor será mucho mayor al requerido, la vagras podrán ir aligeradas.

$$y_{max} = \frac{I_{xx}}{W_x}$$

$$\frac{h}{2} = \frac{\frac{1}{12} * t * h^3}{W_x}$$

$$\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t} = h^2$$

$$\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t} = h^2$$

$$h = \sqrt{\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t}} = \sqrt{\frac{747.21 * 10^3}{2 * \frac{1}{12} * 12}} = 611 \text{ mm}$$

5.2.7 Resumen refuerzos longitudinales

Elemento	Espesor mín. (mm)	Adición por corrosión (mm)	Espesor final (mm)	Modulo mín. (cm ³)	Perfil Llanta de bulbo
Longitudinales de fondo	6	2,5	8,5	164,28	180-9-166
Longitudinales de D.F.	6	2,5	8,5	152,88	180-9-166
Longitudinales de costado	6	0,5	6,5	111	160-8-118
Longitudinales de superestructura	4	0,5	4,5	43,43	100-8-45
Longitudinales de cubierta habilitación	4	0,5	4,5	27,23	80-5-23
Longitudinales cubierta Ppal	4	0,5	4,5	108	160-7-110
Longitudinales de mamparo	6	0,5	6,5	0,27	140-7-80
Vagra	9	2,5	12	747.21	Chapa

5.3 Refuerzos transversales

Al tratarse de una estructura longitudinal, los refuerzos transversales constituyen los refuerzos primarios y son los siguientes:

- Baos para las cubiertas
- Bularcamas en los costados
- Varengas en el doble fondo

A continuación, se ve el escantillando de estos elementos.

5.3.1 Baos

El procedimiento a seguir es el mismo que el llevado a cabo hasta ahora. De la tabla de espesores mínimos escogemos los coeficientes relativos a miembros de apoyo principales para cubiertas de buques con más de dos cubiertas continuas por encima de $0.7 \cdot D$ de la línea base:

Table 3 Minimum net thickness for primary supporting members

Element	a	b
Bottom centreline girder and lower strake of centreline wash bulkhead	5.0	0.03
Other bottom girders	5.0	0.017
Floors	5.0	0.015
PSM at tank boundaries, boundaries of holds intended for cargo in bulk, single strength deck and shell up to freeboard deck	4.5	0.015 ²⁾
PSM in deckhouses and superstructures and decks for vessels with more than 2 continuous decks above $0.7 D$ from baseline	4.5	0.01 ³⁾
Other PSM	4.5	0.01
PSM in peak tanks	5.0	0.025 ¹⁾
1) $bL_2 \leq 5.0$ 2) $bL_2 \leq 2.5$ for stringers in double side next to dry space not intended for cargo in bulk. 3) $bL_2 \leq 2.0$		

Por tanto, para los baos de la cubierta principal:

$$a = 4.5$$

$$b = 0.01$$

$$t = 4.5 + 0.01 * 146.09 * \sqrt{1} = 6.70 \text{ mm}$$

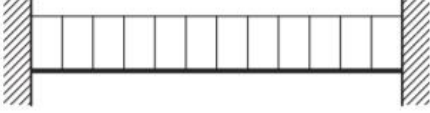
$$t = 6.5 \text{ mm}$$

Ahora nos falta calcular el módulo mínimo que han de tener:

$$z = 1000 \frac{|P| * S * l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_S R_{eH}}$$

Donde:

$$C_S = 0.85$$

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

$$f_{bdg} = 24 \text{ (se calculará en el centro del bao)}$$

$$R_{eH} = 235$$

l_{bdg} es el tramo de flexión efectiva que se tomará como la mayor distancia entre apoyos del bao. Por tanto, se dispondrán puntales en las cubiertas en las cuales no hay mamparos longitudinales para evitar que el bao esté sobredimensionado.

Los puntales se dispondrán a ambos lados a una distancia de 4.68 metros desde crujía y por debajo de la cubierta principal también habrá puntales a crujía por lo que para los baos de las cubiertas 2 y 3. Con los que $l_{bdg} = 9.36 \text{ m}$ para las cubiertas de superestructuras y 7.3 para las cubiertas inferiores.

$$S = 2.8$$

Las presiones se calcularán de acuerdo al DNV:

Table 2 Design load sets for primary supporting members

Description	Design load set	Local load ^{1) 2) 3) 4)}	Draught	Loading condition for defition of GM and k_r	Acceptance criteria
External shell (excluding external decks)	SEA-1	$(P_S + P_W)^{9)}$	$T_{SC}^{7)}$	Full load	AC-II
	SEA-2	$P_S^{9)}$	T_{SC}	-	AC-I
	TK-1 or WB-1	$P_{IS-1} + P_{Id} - P_S^{10)}$	$T_{BAL}^{8)}$	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	$P_{IS-ST} - P_S^{11)}$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	$P_{IS-3} - P_S$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-I
Tank boundaries (excluding external shell)	TK-1 or WB-1	$P_{IS-1} + P_{Id}$	-	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	P_{IS-ST}	-	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	P_{IS-3}	-	-	AC-I
Watertight boundaries	FD-1	P_{fs}	-	-	AC-III AC-I ⁵⁾
Decks	SEA-1	$P_D^{6)}$	T_{SC}	Full load	AC-II
	UDL-1	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	-	Ballast	AC-II
	UDL-2	P_{dl-s} F_{U-s}	-	-	AC-I
Superstructure side	SEA-1	$\max(P_W; P_{SI})$	T_{SC}	Full load	AC-II

Cuyo valor ya se obtuvo para el cálculo de la chapa de cubierta:

$$P = 3.73 \frac{kN}{m^2} \text{ (cubiertas de habilitación)}$$

$$P = 30.16 \frac{kN}{m^2} \text{ (cubierta de cierre)}$$

Entonces el módulo será:

$$z = 1000 \frac{|3.73| * 2.8 * 9.36^2}{24 * 0.85 * 235} = 190.86 \text{ cm}^3$$

$$z = 1000 \frac{|30.16| * 2.8 * 7.3^2}{24 * 0.85 * 235} = 938.7 \text{ cm}^3$$

Si calculamos el ancho de la chapa de la cubierta principal, para el módulo calculado obtenemos:

$$y_{max} = \frac{I_{xx}}{W_x}$$

$$\frac{h}{2} = \frac{\frac{1}{12} * t * h^3}{W_x}$$

$$\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t} = h^2$$

$$\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t} = h^2$$

$$h = \sqrt{\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t}} = \sqrt{\frac{938.7 * 10^3}{2 * \frac{1}{12} * 7}} = 896.99 \text{ mm}$$

Para reducir el ancho de la chapa los baos tendrán un perfil en T con un ancho de 550mm, un espesor de 11 mm y una pletina de 300x20 mm. Para comprobar que el módulo de la sección es mayor al módulo mínimo:

$$A_{alma} = 11 * 550 = 6050 \text{ mm}^2$$

$$A_{ala} = 20 * 300 = 6000 \text{ mm}^2$$

$$y_{alma} = 275 \text{ mm}$$

$$y_{ala} = 560 \text{ mm}$$

$$y_s = \frac{A_{alma} * y_{alma} + A_{ala} * y_{ala}}{A_{alma} + A_{ala}} = 416.9 \text{ mm}$$

$$I_{alma-CDG} = \frac{11 * 550^3}{12} = 152510417 \text{ mm}^3$$

$$I_{ala-CDG} = \frac{300 * 20^3}{12} = 2000000 \text{ mm}^3$$

$$I_{alma-EN} = 152510417 + 6050 * (416.9 - 275)^2 = 274345819 \text{ mm}^4$$

$$I_{ala-EN} = 2000000 + 6000 * (416.9 - 275)^2 = 123050697 \text{ mm}^4$$

$$I_s = 397396516 \text{ mm}^3$$

$$W_x = 397396516 * \frac{10^{-4}}{416.9 * 10^{-1}} = 953.20 \text{ cm}^3$$

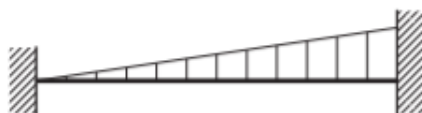
Por otro lado, para las cubiertas de habilitación se selecciona un perfil en T con un ancho de 200 mm, un espesor de 10 mm y una pletina de 150*10 mm.

A continuación, llevaremos a cabo el mismo cálculo para las zonas de balcón:

$$z = 1000 \frac{|P| * S * l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_S R_{eH}}$$

$$f_{bdg} = 23.3 \text{ (se calculará en el centro del bao)}$$

$$R_{eH} = 235$$

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
D				15.0 0.30	23.3 -	10.0 0.70

$$l_{bdg} = 1.25$$

$$S = 2.8$$

$$P = 3.73 \frac{kN}{m^2} \text{ (cubiertas de habilitación)}$$

Entonces el módulo será:

$$z = 1000 \frac{|3.73| * 2.8 * 1.25^2}{23.3 * 0.85 * 235} = 3.5 \text{ cm}^3$$

Este módulo se consigue con una chapa de 5 cm de espesor y 10cm de ancho.

5.3.2 Varengas

Para calcular el espesor mínimo:

Table 3 Minimum net thickness for primary supporting members

Element	a	b
Bottom centreline girder and lower strake of centreline wash bulkhead	5.0	0.03
Other bottom girders	5.0	0.017
Floors	5.0	0.015
PSM at tank boundaries, boundaries of holds intended for cargo in bulk, single strength deck and shell up to freeboard deck	4.5	0.015 ²⁾
PSM in deckhouses and superstructures and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.5	0.01 ³⁾
Other PSM	4.5	0.01
PSM in peak tanks	5.0	0.025 ¹⁾
1) $bL_2 \leq 5.0$ 2) $bL_2 \leq 2.5$ for stringers in double side next to dry space not intended for cargo in bulk. 3) $bL_2 \leq 2.0$		

$$a = 5$$

$$b = 0.015$$

$$t = 5 + 0.015 * 146.09 * \sqrt{1} = 7.2 \text{ mm}$$

Si le sumamos al espesor mínimo la adicción por corrosión obtenemos que el espesor mínimo resulta de 10 mm.

El siguiente paso es calcular el módulo mínimo de las varengas. Como ya hemos visto:

$$z = 1000 \frac{|P| * S * l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_S R_{eH}}$$

Con:

$$S = 2.8 \text{ m}$$

$$l_{bdg} = 2.95 \text{ m}$$

$$f_{bdg} = 12$$

$$C_S = 0.85$$

$$R_{eH} = 235 \text{ N/mm}^2$$

Para calcular la presión acudimos a la tabla de cargas para los refuerzos primarios que nos aporta el DNV Pt.3 Ch. 6 Sec. 2:

Table 2 Design load sets for primary supporting members

Description	Design load set	Local load ^{1) 2) 3) 4)}	Draught	Loading condition for definition of GM and k_r	Acceptance criteria
External shell (excluding external decks)	SEA-1	$(P_S + P_W)^{9)}$	$T_{SC}^{7)}$	Full load	AC-II
	SEA-2	$P_S^{9)}$	T_{SC}	-	AC-I
	TK-1 or WB-1	$P_{IS-1} + P_{id} - P_S^{10)}$	$T_{BAL}^{8)}$	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	$P_{IS-ST} - P_S^{11)}$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	$P_{IS-3} - P_S$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-I
Tank boundaries (excluding external shell)	TK-1 or WB-1	$P_{IS-1} + P_{id}$	-	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	P_{IS-ST}	-	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	P_{IS-3}	-	-	AC-I
Watertight boundaries	FD-1	P_{fs}	-	-	AC-III AC-I ⁵⁾
Decks	SEA-1	$P_D^{6)}$	T_{SC}	Full load	AC-II
	UDL-1	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	-	Ballast	AC-II
	UDL-2	P_{dl-s} F_{U-s}	-	-	AC-I
Superstructure side	SEA-1	$\max(P_W; P_{SI})$	T_{SC}	Full load	AC-II

Como ya hemos comprobado para el doble fondo sabemos que la presión ejercida por el mar es mayor, por tanto:

$$P = 81.59 \frac{kN}{m^2}$$

$$z = 1000 \frac{|81.59| * 2.8 * 2.95^2}{12 * 0.85 * 235} = 829.41 \text{ cm}^3$$

Como ya llevamos a cabo en el caso de las vagras, como el refuerzo se trata de una chapa y conocemos el espesor y el módulo podemos conocer que ancho necesita la chapa para cumplir los requisitos:

$$h = \sqrt{\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t}} = \sqrt{\frac{829.41 * 10^3}{2 * \frac{1}{12} * 10}} = 705.5 \text{ mm}$$

5.3.3 Bulárcamas

Element	a	b
Bottom centreline girder and lower strake of centreline wash bulkhead	5.0	0.03
Other bottom girders	5.0	0.017
Floors	5.0	0.015
PSM at tank boundaries, boundaries of holds intended for cargo in bulk, single strength deck and shell up to freeboard deck	4.5	0.015 ²⁾
PSM in deckhouses and superstructures and decks for vessels with more than 2 continuous decks above 0.7 D from baseline	4.5	0.01 ³⁾
Other PSM	4.5	0.01
PSM in peak tanks	5.0	0.025 ¹⁾
1) $bL_2 \leq 5.0$ 2) $bL_2 \leq 2.5$ for stringers in double side next to dry space not intended for cargo in bulk. 3) $bL_2 \leq 2.0$		

$$a = 4.50$$

$$b = 0.015$$

$$t = 4.5 + 0.015 * 146.09 * \sqrt{1} = 6.69 \text{ mm}$$

$$t = 7.5 \text{ mm}$$

Por lo que el espesor mínimo de las bulárcamas será de 7.5 mm al que hay que sumarle 0.5 mm de la adición por corrosión, con lo que resulta un espesor de bulárcama de 8 mm.

El siguiente paso es calcular el módulo:

$$z = 1000 \frac{|P| * S * l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_S R_{eH}}$$

Con:

$$S = 2.8 \text{ m}$$

$$l_{bdg} = 4.7 \text{ m (separación entre la cubierta 1 y 2)}$$

$$f_{bdg} = 24$$

Para calcular las presiones volvemos a la tabla de presiones:

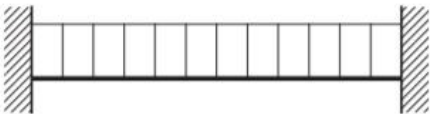
Table 2 Design load sets for primary supporting members

Description	Design load set	Local load ^{1) 2) 3) 4)}	Draught	Loading condition for defition of GM and k_r	Acceptance criteria
External shell (excluding external decks)	SEA-1	$(P_S + P_W)^{9)}$	$T_{SC}^{7)}$	Full load	AC-II
	SEA-2	$P_S^{9)}$	T_{SC}	-	AC-I
	TK-1 or WB-1	$P_{ls-1} + P_{ld} - P_S^{10)}$	$T_{BAL}^{8)}$	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	$P_{ls-ST} - P_S^{11)}$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	$P_{ls-3} - P_S$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-I
Tank boundaries (excluding external shell)	TK-1 or WB-1	$P_{ls-1} + P_{ld}$	-	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	P_{ls-ST}	-	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	P_{ls-3}	-	-	AC-I
Watertight boundaries	FD-1	P_{fs}	-	-	AC-III AC-I ⁵⁾
Decks	SEA-1	$P_D^{6)}$	T_{SC}	Full load	AC-II
	UDL-1	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	-	Ballast	AC-II
	UDL-2	P_{dl-s} F_{U-s}	-	-	AC-I
Superstructure side	SEA-1	$\max(P_{Wi}, P_{Si})$	T_{SC}	Full load	AC-II

$$P = P_{ex}$$

El valor de la presión exterior que soportan las bulárcamas se ha calculado previamente para el costado del buque, donde se obtuvo:

$$P = 81.87 \frac{kN}{m^2}$$

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

$$C_S = 0.85$$

$$R_{eH} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$z = 1000 \frac{|81.87| * 2.8 * 4.7^2}{24 * 0.85 * 235} = 1056.28 \text{ cm}^3$$

Como ya llevamos a cabo en el caso de las vagras, como el refuerzo se trata de una chapa y conocemos el espesor y el módulo podemos conocer que ancho necesita la chapa para cumplir los requisitos:

$$h = \sqrt{\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t}} = \sqrt{\frac{1056.28 * 10^3}{2 * \frac{1}{12} * 8}} = 890 \text{ mm}$$

Si seleccionamos un perfil en T como hicimos para el bao:

Alma:10x650

Ala:200x15

Con lo que obtenemos un módulo de 1061 cm^3 .

Si calculamos los refuerzos verticales de la superestructura:

$$a = 4.50$$

$$b = 0.01$$

$$t = 4.5 + 0.01 * 146.09 * \sqrt{1} = 6 \text{ mm}$$

$$t = 6.5 \text{ mm}$$

$$z = 1000 \frac{|P| * S * l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_S R_{eH}}$$

Con:

$$S = 2.8 \text{ m}$$

$$l_{bdg} = 3 \text{ m (separación entre cubiertas)}$$

$$f_{bdg} = 24$$

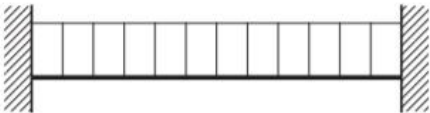
Para calcular las presiones volvemos a la tabla de presiones:

Table 2 Design load sets for primary supporting members

Description	Design load set	Local load ^{1) 2) 3) 4)}	Draught	Loading condition for defition of GM and k_r	Acceptance criteria
External shell (excluding external decks)	SEA-1	$(P_S + P_W)^{9)}$	$T_{SC}^{7)}$	Full load	AC-II
	SEA-2	$P_S^{9)}$	T_{SC}	-	AC-I
	TK-1 or WB-1	$P_{IS-1} + P_{Id} - P_S^{10)}$	$T_{BAL}^{8)}$	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	$P_{IS-ST} - P_S^{11)}$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	$P_{IS-3} - P_S$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-I
Tank boundaries (excluding external shell)	TK-1 or WB-1	$P_{IS-1} + P_{Id}$	-	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	P_{IS-ST}	-	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	P_{IS-3}	-	-	AC-I
Watertight boundaries	FD-1	P_{IS}	-	-	AC-III AC-I ⁵⁾
Decks	SEA-1	$P_D^{6)}$	T_{SC}	Full load	AC-II
	UDL-1	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	-	Ballast	AC-II
	UDL-2	P_{dl-s} F_{U-s}	-	-	AC-I
Superstructure side	SEA-1	$\max(P_W; P_{St})$	T_{SC}	Full load	AC-II

El valor de las presiones P_W y P_{St} se calcularon previamente en el apartado de la chapa de costado, donde obtuvimos:

$$P = 26.2 \frac{kN}{m^2}$$

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

$$C_S = 0.85$$

$$R_{eH} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$z = 1000 \frac{|26.2| * 2.8 * 3^2}{24 * 0.85 * 235} = 137.7 \text{ cm}^3$$

Podemos conocer que ancho necesita la chapa para cumplir los requisitos:

$$h = \sqrt{\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t}} = \sqrt{\frac{137.7 * 10^3}{2 * \frac{1}{12} * 7}} = 343.58 \text{ mm}$$

Seleccionamos un perfil en T con las siguientes características:

Alma: 7x280

Ala: 100x10

Con lo que obtenemos un módulo de 141.46 cm³.

Por último, calcularemos los refuerzos verticales de los mamparos longitudinales:

$$a = 4.50$$

$$b = 0.015$$

$$t = 4.5 + 0.015 * 146.09 * \sqrt{1} = 6.69 \text{ mm}$$

$$t = 7.5 \text{ mm}$$

$$z = 1000 \frac{|P| * S * l_{bdg}^2}{f_{bdg} C_S R_{eH}}$$

Con:

$$S = 2.8 \text{ m}$$

$$l_{bdg} = 4.7 \text{ m}$$

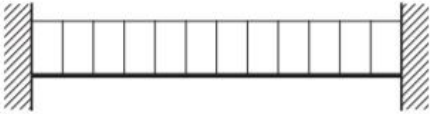
$$f_{bdg} = 24$$

Para calcular las presiones:

Table 2 Design load sets for primary supporting members

Description	Design load set	Local load ^{1) 2) 3) 4)}	Draught	Loading condition for definition of GM and k_r	Acceptance criteria
External shell (excluding external decks)	SEA-1	$(P_S + P_W)^{9)}$	$T_{SC}^{7)}$	Full load	AC-II
	SEA-2	$P_S^{9)}$	T_{SC}	-	AC-I
	TK-1 or WB-1	$P_{ls-1} + P_{ld} - P_S^{10)}$	$T_{BAL}^{8)}$	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	$P_{ls-ST} - P_S^{11)}$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	$P_{ls-3} - P_S$	$T_{BAL}^{8)}$	-	AC-I
Tank boundaries (excluding external shell)	TK-1 or WB-1	$P_{ls-1} + P_{ld}$	-	Ballast	AC-II
	TK-2 or WB-3	P_{ls-ST}	-	-	AC-III
	TK-3 or WB-4	P_{ls-3}	-	-	AC-I
Watertight boundaries	FD-1	P_{fs}	-	-	AC-III AC-1 ⁵⁾
Decks	SEA-1	$P_D^{6)}$	T_{SC}	Full load	AC-II
	UDL-1	$P_{dl-s} + P_{dl-d}$ $F_{U-s} + F_{U-d}$	-	Ballast	AC-II
	UDL-2	P_{dl-s} F_{U-s}	-	-	AC-I
Superstructure side	SEA-1	$\max(P_W; P_{Sl})$	T_{SC}	Full load	AC-II

$$P = P_{ls-1} + P_{ld} = 36.57 \frac{kN}{m^2}$$

Load and boundary condition				Bending moment and shear force distribution factors (based on load at mid span, where load varies)		
Position				1	2	3
Load model	1 Support	2 Field	3 Support	f_{bdg1} f_{shr1}	f_{bdg2} -	f_{bdg3} f_{shr3}
A				12.0 0.50	24.0 -	12.0 0.50

$$C_S = 0.85$$

$$R_{eH} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$z = 1000 \frac{|36.57| * 2.8 * 4.7^2}{24 * 0.85 * 235} = 431.82 \text{ cm}^3$$

Podemos conocer que ancho necesita la chapa para cumplir los requisitos:

$$h = \sqrt{\frac{W_x}{2 * \frac{1}{12} * t}} = \sqrt{\frac{431.82 * 10^3}{2 * \frac{1}{12} * 8}} = 595 \text{ mm}$$

Seleccionamos un perfil en T con las siguientes características:

Alma: 8*460

Ala: 150*15

Con lo que obtenemos un módulo de 449 cm³.

6 COMPROBACIÓN DEL MÓDULO MÍNIMO

A continuación, se calculará el módulo mínimo de la cuaderna maestra impuesto por la sociedad de clasificación DNV Pt. 3 Ch. 5 Sec. 2:

1.3 Minimum section modulus midship

The gross midship section modulus, in m^3 , at equivalent deck line as defined in [1.2.3], and bottom shall not be less than the value obtained from the following formula:

$$Z_{R-gr} = k \left(\frac{1+f_r}{2} \right) C_{w0} L^2 B (C_B + 0.7) 10^{-6}$$

Donde todos los factores presentes en la fórmula son conocidos tras haberlos calculado en apartados previos del cuaderno

$$k = 1 \text{ (Factor de acero (DNVGL – RU – SHIP Pt.3 Ch 3))}$$

$$f_r = 1$$

f_r = reduction factor related to service restrictions as defined in Pt.1 Ch.2 Sec.5:
1.0 for service area notation **R0** (No reduction)
0.9 for service area notation **R1** (10% reduction)
0.8 for service area notation **R2** (20% reduction)

C_{w0} = wave parameter taken as:
= C_w for $L > 90$ m
= $5.7 + 0.0222L$ for $L \leq 90$ m

$$C_{w0} = C_w = 10.75 - \left(\frac{300 - L}{100} \right)^{1.5} = 8.84$$

$$L = 146.09 \text{ m}$$

$$B = 24 \text{ m}$$

$$C_b = 0.688 \text{ m}$$

Por tanto, el valor del módulo mínimo de la sección es:

$$Z_{R-gr} = 1 * \left(\frac{1+1}{2} \right) * 8.84 * 146.09^2 * 24 * (0.688 + 0.7) * 10^{-6} = 6.268 \text{ m}^3$$

El siguiente paso es calcular el módulo real de la sección seleccionada como cuaderna maestra para comprobar que cumple el módulo mínimo calculado. Para llevar a cabo el cálculo tendremos en cuenta en primer lugar las chapas y en segundo, los refuerzos. Para el cálculo del módulo no se considerarán los refuerzos transversales dado que no aportan a la resistencia longitudinal.

Las fórmulas tenidas en cuenta para la obtención del módulo de la sección son las siguientes:

$$I_p = \frac{1}{12} * l_y * l_z^3 \text{ (inercia propia de las chapas)}$$

Siendo l_y y l_z respectivamente el ancho de la chapa en el eje y y en el eje z. El área de cada chapa por tanto será el producto de multiplicar ambos valores.

La inercia y el área de los refuerzos se obtendrá de la tabla de refuerzos de donde se seleccionaron.

$$I_t = \sum I_p + \sum A * ZG^2 \text{ (inercia de la sección respecto a la línea base)}$$

Siendo ZG la altura del centro de gravedad de cada uno de los elementos desde la línea base.

$$e_B = \frac{\sum(A * ZG)}{\sum A} \text{ (posición del eje neutro respecto a la línea base)}$$

$$e_D = D - e_B \text{ (posición del eje neutro respecto a la cubierta)}$$

$$I_{EN} = I_t - \sum A * e_B^2 \text{ (inercia de la sección respecto al eje neutro)}$$

Si realizamos estos cálculos, finalmente, obtenemos los valores que se muestran resumidos a continuación:

Tabla 20: Resumen valores obtenidos cálculo de la inercia de la sección.

Resumen valores obtenidos		
Inercía de la sección respecto a la línea base (Ib)	266,994806	m ⁴
Área total (A)	0,972507	m ²
Posición eje neutro respecto a la línea base (eb)	3,32245139	m
Posición eje neutro respecto a la cubierta (ed)	5,47754861	m
Inercia respecto al eje neutro (Ien)	256,259609	m ⁴
Módulo respecto a la línea base (Wb)	77,1296788	m ³
Módulo respecto a la cubierta (Wd)	46,7836303	m ³

*En los ANEXOS se podrán encontrar los cálculos llevados a cabo para la obtención de los valores.

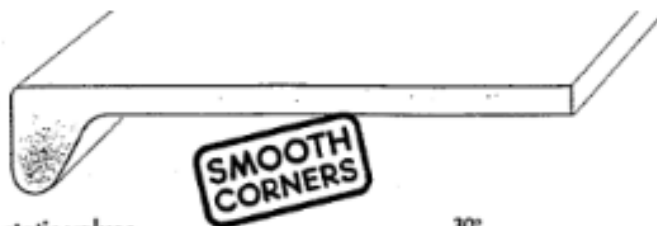
Si comprobamos los módulos reales respecto a la cubierta y al fondo obtenidos frente al módulo mínimo de la sección obtenemos que la Cuaderna Maestra cumple satisfactoriamente:

Tabla 21: Comparación módulo

	Requerido	Real	Cumple?
Módulo Fondo (m ³)	6,568	77,1296788	SI
Módulo Cubierta (m ³)	6,568	46,7836303	SI

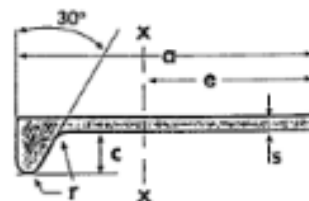
ANEXO VIII.I: CATÁLOGO PERFILES LLANTA DE BULBO

Bulb Flats



Dimension range, weight/m and static values

Width a mm	Thickness s mm	Height c mm	Radius r mm	Area A cm ²	Weight kg/m	e cm	I _x cm ⁴	W _x * cm ³
60	4	13	3.5	3.58	2.81	3.82	12.2	13
	5	13	3.5	4.18	3.28	3.70	14.4	14
	6	13	3.5	4.78	3.75	3.62	16.4	16
80	5	14	4	5.40	4.24	4.89	33.8	23
	6	14	4	6.20	4.87	4.78	39.0	25
	7	14	4	7.00	5.50	4.69	43.3	27
Delivery by special agreement. Standard lengths 6-12 m								
100	6	15.5	4.5	7.74	6.08	5.98	76.1	38
	7	15.5	4.5	8.74	6.86	5.87	85.3	41
	8	15.5	4.5	9.74	7.65	5.78	94.3	45
120	6	17	5	9.31	7.31	7.20	133	54
	7	17	5	10.5	8.25	7.07	148	59
	8	17	5	11.7	9.19	6.96	164	63
140	7	19	5.5	12.4	9.74	8.31	241	80
	8	19	5.5	13.8	10.8	8.18	266	87
	9	19	5.5	15.2	11.9	8.07	291	93
160	7	22	6	14.6	11.4	9.66	373	110
	8	22	6	16.2	12.7	9.49	411	118
	9	22	6	17.8	14.0	9.36	448	126
180	8	25	7	18.9	14.8	10.9	609	157
	9	25	7	20.7	16.2	10.7	663	166
	10	25	7	22.5	17.6	10.6	717	177
200	9	28	8	23.6	18.5	12.1	941	225
	10	28	8	25.6	20.1	11.9	1020	237
	11.5	28	8	28.6	22.5	11.7	1126	255
220	10	31	9	29.0	22.8	13.4	1400	302
	11.5	31	9	32.3	25.4	13.1	1550	323
240	10	34	10	32.4	25.4	14.7	1860	368
	11	34	10	34.9	27.4	14.6	2000	391
	12	34	10	37.3	29.3	14.4	2130	406
260	10	37	11	36.1	28.3	16.2	2477	455
	11	37	11	38.7	30.3	16.0	2610	474
	12	37	11	41.3	32.4	15.8	2770	493
280	11	40	12	42.6	33.5	17.4	3330	566
	12	40	12	45.5	35.7	17.2	3550	590
300	11	43	13	46.7	36.7	18.9	4190	671
	12	43	13	49.7	39.0	18.7	4460	701
	13	43	13	52.8	41.5	18.5	4720	728
320	12	46	14	54.2	42.5	20.1	5530	819
	13	46	14	57.4	45.0	19.9	5850	849
340	12	49	15	58.8	46.1	21.5	6760	947
	14	49	15	65.5	51.5	21.1	7540	1014
370	13	53.5	16.5	69.6	54.6	23.5	9470	1210
	15	53.5	16.5	77.0	60.5	23.0	10490	1278
400	14	58	18	81.4	63.9	25.5	12930	1580
	16	58	18	89.4	70.2	25.0	14220	1666
430	15	62.5	19.5	94.1	73.9	27.4	17260	1935
	17	62.5	19.5	103.0	80.6	26.9	18860	2036



Standard
lengths

6-18 m.

Other lengths by
special agreement

Plate cross
sectional
area
60 cm²

Orders

must include
the following
measurements:
a x s.

Plate cross
sectional
area
100 cm²

Plate cross
sectional
area
150 cm²

* Inclusive plate as noted

INEXA PROFIL

ANEXO VIII.II: CÁLCULO DEL MÓDULO DE LA SECCIÓN

Documento elaborado con la herramienta Excel.

	CHAPAS	N	L_y (m)	L_z (m)	A (m^2)	ZG (m)	A*ZG (m^3)	A*ZG^2 (m^4)	Ip (m^4)	It (m^4)	It total (m^4)
Fondo	Chapa de fondo	2	9,6	0,013	0,1248	0,1715	0,0214032	0,003670649	1,7576E-06	0,003672406	0,007344813
	Pantoque	2	2,014	0,013	0,026182	0,87	0,02277834	0,019817156	3,6873E-07	0,019817525	0,039635049
	Vagra central	1	0,012	1,4	0,0168	0,713	0,0119784	0,008540599	0,002744	0,011284599	0,011284599
	Vagras	8	0,01	1,4	0,014	0,713	0,009982	0,007117166	0,002286667	0,009403833	0,075230661
	Chapa del doble fondo	2	11,225	0,009	0,101025	1,413	0,142748325	0,201703383	6,81919E-07	0,201704065	0,40340813
Cubiertas	Chapa de cubierta 2	2	12	0,008	0,096	6,122	0,587712	3,597972864	0,000000512	3,597973376	7,195946752
	Chapa de cubierta 3	2	12	0,008	0,096	8,83	0,84768	7,4850144	0,000000512	7,485014912	14,97002982
Costado interior	Chapa interior	2	0,011	7,4	0,0814	5,1	0,41514	2,117214	0,371455333	2,488669333	4,977338667
Costado exterior	Chapa exterior	2	0,007	7,4	0,0518	5,1	0,26418	1,347318	0,236380667	1,583698667	3,167397333
Mamparos long.	Chapa mamparo tanques	3	0,009	4,7	0,0423	3,75	0,158625	0,59484375	0,07786725	0,672711	2,018133
					0,650307		2,482227265	15,38321197	32,86574883		

	REFUERZOS	Tipo	N	A (m²)	A_t (m²)	ZG (m)	A*ZG (m³)	A*ZG² (m⁴)	Ip (m⁴)	It (m⁴)	It total (m⁴)	
Fondo	Longitudinales de fondo	180x9	28	0,00207	0,05796	0,103	0,00596988	0,000614898	0,00000663	0,000621528	0,017402774	
	Longitudinales de doble fondo	180x9	28	0,00207	0,05796	1,3185	0,07642026	0,100760113	0,00000663	0,100766743	2,821468799	
Costado	Longitudinales altura 1	160x8	2	0,00162	0,00324	1,854	0,00600696	0,011136904	0,00000411	0,011141014	0,022282028	
	Longitudinales altura 2	160x8	2	0,00162	0,00324	2,304	0,00746496	0,017199268	0,00000411	0,017203378	0,034406756	
	Longitudinales altura 3	160x8	2	0,00162	0,00324	2,754	0,00892296	0,024573832	0,00000411	0,024577942	0,049155884	
	Longitudinales altura 4	160x8	2	0,00162	0,00324	3,204	0,01038096	0,033260596	0,00000411	0,033264706	0,066529412	
	Longitudinales altura 5	160x8	2	0,00162	0,00324	3,654	0,01183896	0,04325956	0,00000411	0,04326367	0,08652734	
	Longitudinales altura 6	160x8	2	0,00162	0,00324	4,104	0,01329696	0,054570724	0,00000411	0,054574834	0,109149668	
	Longitudinales altura 7	160x8	2	0,00162	0,00324	4,554	0,01475496	0,067194088	0,00000411	0,067198198	0,134396396	
	Longitudinales altura 8	160x8	2	0,00162	0,00324	5,004	0,01621296	0,081129652	0,00000411	0,081133762	0,162267524	
	Longitudinales altura 9	160x8	2	0,00162	0,00324	5,454	0,01767096	0,096377416	0,00000411	0,096381526	0,192763052	
	Longitudinales altura 10	160x8	2	0,00162	0,00324	6,554	0,02123496	0,139173928	0,00000411	0,139178038	0,278356076	
	Longitudinales altura 11	160x8	2	0,00162	0,00324	7,004	0,02269296	0,158941492	0,00000411	0,158945602	0,317891204	
	Longitudinales altura 12	160x8	2	0,00162	0,00324	7,454	0,02415096	0,180021256	0,00000411	0,180025366	0,360050732	
	Longitudinales altura 13	160x8	2	0,00162	0,00324	7,904	0,02560896	0,20241322	0,00000411	0,20241733	0,40483466	
	Longitudinales altura 14	160x8	2	0,00162	0,00324	8,354	0,02706696	0,226117384	0,00000411	0,226121494	0,452242988	
Mamparos	Longitudinales altura 1	140x7	5	0,00124	0,0062	1,854	0,0114948	0,021311359	0,00000241	0,021313769	0,106568846	
	Longitudinales altura 2	140x7	5	0,00124	0,0062	2,304	0,0142848	0,032912179	0,00000241	0,032914589	0,164572946	
	Longitudinales altura 3	140x7	5	0,00124	0,0062	2,754	0,0170748	0,047023999	0,00000241	0,047026409	0,235132046	
	Longitudinales altura 4	140x7	5	0,00124	0,0062	3,204	0,0198648	0,063646819	0,00000241	0,063649229	0,318246146	
	Longitudinales altura 5	140x7	5	0,00124	0,0062	3,654	0,0226548	0,082780639	0,00000241	0,082783049	0,413915246	
	Longitudinales altura 6	140x7	5	0,00124	0,0062	4,104	0,0254448	0,104425459	0,00000241	0,104427869	0,522139346	
	Longitudinales altura 7	140x7	5	0,00124	0,0062	4,554	0,0282348	0,128581279	0,00000241	0,128583689	0,642918446	
	Longitudinales altura 8	140x7	5	0,00124	0,0062	5,004	0,0310248	0,155248099	0,00000241	0,155250509	0,776252546	
	Longitudinales altura 9	140x7	5	0,00124	0,0062	5,454	0,0338148	0,184425919	0,00000241	0,184428329	0,922141646	
Cubiertas	Longitudinales cubierta 2	160x7	34	0,00146	0,04964	6,068	0,30121552	1,827775775	0,00000373	1,827779505	62,14450318	
	Longitudinales cubierta 3	160x7	38	0,00146	0,05548	8,776	0,48689248	4,272968404	0,00000373	4,272972134	162,3729411	
					0,3222		1,30169678	8,357844261				234,1290568



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo IX

CUADERNO 9: FRANCOBORDO Y ARQUEO



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 francobordo	5
3.1 Definición de términos	5
3.1.1 Cubierta de francobordo.....	5
3.1.2 Eslora de francobordo	5
3.1.3 Puntal de francobordo.....	5
3.1.4 Coeficiente de bloque	5
3.2 Cálculo del francobordo	6
3.2.1 Regla 27. Tipos de buque	6
3.2.2 Regla 28. Tablas de francobordo	6
3.2.3 Regla 29. Corrección para buques de eslora inferior a los 100 metros.....	6
3.2.4 Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque	6
3.2.5 Regla 31. Corrección por puntal.....	7
3.2.6 Regla 32. Corrección por posición de la línea de cubierta.....	7
3.2.7 Regla 33. Altura normal de las superestructuras.....	7
3.2.8 Regla 34. Longitud de las superestructuras	7
3.2.9 Regla 35. Longitud efectiva de las superestructuras	7
3.2.10 Regla 36. Troncos.....	8
3.2.11 Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos	8
3.2.12 Regla 38. Arrufo	8
3.2.13 Regla 39. Altura mínima de proa y reserva de flotabilidad.....	9
3.2.14 Regla 40. Francobordos mínimos	10
4 Arqueo	12
4.1 Definición de términos	12
4.1.1 Cubierta superior	12
4.1.2 Puntal de trazado.....	12
4.1.3 Manga.....	12
4.1.4 Espacio cerrado	12
4.1.5 Pasajero.....	13
4.2 Arqueo bruto	13
4.3 Arqueo neto.....	13
Anexo IX.I: Tablas Hidrostáticas.....	14
Anexo IX.II: Cálculo de francobordo	16

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es llevar a cabo el cálculo de francobordo y arqueo del buque proyecto. Las características del buque se muestran resumidas en la siguiente tabla.

Tabla 1: Resumen parámetros del buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos
Grupos generadores	4x3600	kW

Para llevar a cabo el cálculo del francobordo se seguirá el Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966 que también estipula los francobordos mínimos que el buque proyecto debe cumplir. Para el cálculo del arqueo se seguirá el Convenio Internacional sobre Arqueo de Buques, hecho en Londres el 23 de junio de 1969.

3 FRANCOBORDO

3.1 Definición de términos

Antes de comenzar con el cálculo del francobordo es necesario definir las características del buque proyecto con respecto a dicho reglamento

3.1.1 Cubierta de francobordo

La cubierta de francobordo es la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar, dotada de medios permanentes de cierre en todas las aberturas. Se consideró como cubierta de francobordo la cubierta 3 situada a 8.8 metros sobre la línea base.

Las parte del casco que se extiende por encima de la cubierta de francobordo se considerará como una superestructura en lo que respecta al cálculo de francobordo, siempre y cuando se extienda de banda a banda del buque o cuyo forro lateral no esté separado del forro del costado más de un 4% de la manga que en este caso equivale a una distancia de 0,96 m. Se considerará superestructura cerrada hasta la cubierta 4 situada a 11,8 metros sobre la línea base y hasta la cubierta 5 a 14,8 metros en la zona del castillo de proa ya que toda la zona comprendida entre la línea base y estas cubiertas posee mamparos eficientes de cierre estancos.

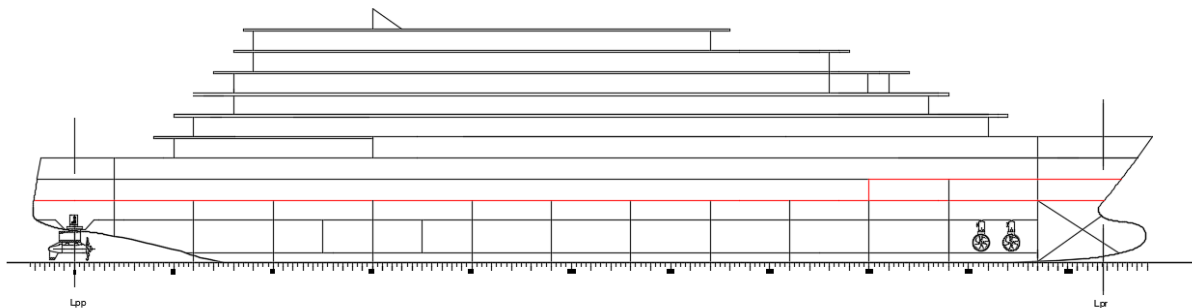


Figura 1: Cubierta de francobordo y cubierta castillo

3.1.2 Eslora de francobordo

La eslora utilizada por el reglamento será la mayor de:

- 96% de la eslora total al 85% del puntal de trazado medido desde el canto alto de la quilla (144,2 m)
- La cara de proa de la roda y el eje de la mecha del timón (144,3 m)

La eslora de francobordo será por tanto igual a 144,3 metros.

3.1.3 Puntal de francobordo

Es el puntal de trazado añadiendo el espesor de la cubierta de francobordo. El espesor de la chapa de la cubierta de francobordo se obtuvo previamente en el cuaderno 10 y es igual a 8 mm. Por lo cual el puntal de francobordo queda:

$$D_{\text{francobordo}} = 8,8 + 8 \cdot 10^{-3} = 8,808 \text{ m}$$

3.1.4 Coeficiente de bloque

El coeficiente viene dado por la siguiente fórmula:

$$C_b = \frac{\nabla}{L * B * d_1}$$

Donde L es la eslora de francobordo, B la manga y Δ es el volumen del desplazamiento del buque a un calado de trazado d_1 , siendo d_1 el 85% del puntal mínimo de trazado. El volumen de desplazamiento se obtuvo en Maxsurf para un calado de 7.48 metros ($0.85 \cdot 8.8 = 7.48$ m).

$$\nabla = \frac{19.067}{1,025} = 18.602 \text{ m}^3$$

Por tanto, el valor final del coeficiente de bloque resulta:

$$C_b = \frac{18.602}{144,3 \cdot 24 \cdot 7,48} = 0,718$$

3.2 Cálculo del francobordo

3.2.1 Regla 27. Tipos de buque

El reglamento define dos tipos de buque:

- Buques de tipo A: proyectados para transportar cargas líquidas a granel, deben cumplir una serie de requisitos
- Buques tipo B: aquellos que no cumplen los requisitos de los buques tipo A.

Por tanto, el buque será de tipo B al tratarse de un buque crucero destinado al transporte de pasajeros.

3.2.2 Regla 28. Tablas de francobordo

El convenio nos ofrece una serie de tablas para la obtención del francobordo tabular. Para buques de tipo B con una eslora de 144,3 metros:

Tabla 2: Francobordo tabular. Convenio Internacional de Líneas de Carga de 1966.

Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)	Eslora del buque (metros)	Francobordo (milímetros)
143	2171	180	2915	217	3537
144	2190	181	2933	218	3554
145	2209	182	2952	219	3570
146	2229	183	2970	220	3586

Se obtiene un francobordo tabular de 2196 milímetros.

3.2.3 Regla 29. Corrección para buques de eslora inferior a los 100 metros

Como el buque proyecto tiene una eslora superior a 100 metros, esta corrección no es aplicable.

3.2.4 Regla 30. Corrección por coeficiente de bloque

Cuando el coeficiente de bloque es superior a 0,69 es necesario modificar el francobordo tabular obtenido en la regla 28, multiplicándolo por el factor:

$$\frac{CB + 0,68}{1,36} = 1,028$$

Lo cual equivale a un aumento de 62mm con lo que el nuevo francobordo tabular obtenido resulta:

$$F_{tabular} = 2.258 \text{ mm}$$

3.2.5 Regla 31. Corrección por puntal

Cuando D excede de L/15, el francobordo debe aumentarse un valor igual a:

$$\left(D - \frac{L}{15}\right) * 250$$

Por tanto,

$$\frac{L}{15} = \frac{144,3}{15} = 9,62 \rightarrow \text{NO APLICA}$$

Sin embargo, como el buque cuenta con una superestructura que cubre al menos el 60% de L en el centro del buque el francobordo debe reducirse el valor descrito previamente:

$$\left(8.808 - \frac{144,3}{15}\right) * 250 = -203$$

Como la altura de la superestructura es de 3 metros y es superior a la altura normal de superestructura que para buques de más de 125 metros de eslora es de 2,3 metros (regla 33), esta corrección no hay que modificarla.

3.2.6 Regla 32. Corrección por posición de la línea de cubierta

No aplica.

3.2.7 Regla 33. Altura normal de las superestructuras.

Tabla 3: Altura normal de superestructuras. Convenio Internacional de Líneas de Carga

L (metros)	Saltillo	Todas las demás superestructuras
30 ó menos	0,90	1,80
75	1,20	1,80
125 ó más	1,80	2,30

Como se puede comprobar en la tabla obtenida del Convenio, la altura normal de las superestructuras para una eslora de más de 125 metros es de 2,3 metros.

3.2.8 Regla 34. Longitud de las superestructuras

La longitud de la una superestructura (S) será la longitud de aquella parte de la superestructura que quede dentro de la eslora.

3.2.9 Regla 35. Longitud efectiva de las superestructuras

La longitud efectiva (E) de una superestructura cerrada de altura normal será su longitud real. La longitud efectiva de las superestructuras que no sean cerradas será nula. Por tanto,

La longitud efectiva de la superestructura será igual a 113,2 m en la zona central con una altura de 3 metros y el castillo de proa tendrá una longitud de 31.1 metros y una altura de 6. La longitud efectiva total será por tanto de 144,3 metros por lo que ocupa toda la eslora del buque. Si dividimos la superestructura en tres partes:

Tabla 4: Longitud efectiva de superestructuras

Superestructura	Longitud (S)	Manga de la superestructura	Manga del buque	Altura	Longitud efectiva (E)
Castillo de proa	31,1	16,3	16,3	6	31,1
Centro	107,7	24	24	3	107,7
Toldilla	5,5	24	24	3	5,5

3.2.10 Regla 36. Troncos

Los troncos no se considerarán dado que no se tratan de superestructuras cerradas.
→ *NO APPLICA*

3.2.11 Regla 37. Reducción por superestructuras y troncos

Como la longitud efectiva de la superestructura equivale a la eslora del buque ($E=1*L$) y esta tiene un valor superior a 122 metros, la reducción de francobordo será igual a 1.070 mm.

3.2.12 Regla 38. Arrufo

A continuación, se muestra la tabla de la curva de arrufo normal:

Tabla 5: Curva de arrufo normal

	Situación	Columna1	Ordenadas	Factor	Resultado		
Mitad de popa	Perpendicular de popa		1453	1	1453		
	1/6 L desde Ppp		645	3	1935		
	1/3 L desde Ppp		163	3	489		
	Centro del barco		0	1	0	Arrufo popa	3877
Mitad de proa	Centro del barco		0	1	0		
	1/3 L desde Ppr		325	3	975		
	1/6 L desde Ppr		1290	3	3870		
	E Perpendicular de proa		2905	1	2905	Arrufo proa	7750

El buque proyecto está diseñado sin arrufo. Sin embargo, el buques cuenta con una superestructura de altura mayor a la altura normal de superestructura que se extiende sobre toda la longitud de la cubierta de francobordo. Según el convenio, la diferencia mínima (Z) entre las alturas real y normal, se añadirá a cada una de las ordenadas extremas. Análogamente, las ordenadas intermedias, a distancias de 1/6 L y 1/3 L de cada una de las perpendiculares, se incrementarán en 0,444 Z y 0,111 Z, respectivamente.

Tabla 6: Curva de arrufo normal con corrección por superestructura

	Situación	Columna1	Ordenadas	Factor	Resultado		
Mitad de popa	Perpendicular de popa		700	1	700		
	1/6 L desde Ppp		311	3	930		
	1/3 L desde Ppp		78	3	231		
	Centro del barco		0	1	0	Arrufo popa	1867
Mitad de proa	Centro del barco		0	1	0		
	1/3 L desde Ppr		78	3	231		
	1/6 L desde Ppr		311	3	930		
	Perpendicular de proa		700	1	700	Arrufo proa	1867

El exceso o defecto de arrufo se calculará multiplicando las cuatro ordenadas de cada una de las curvas en mitades de proa o de popa por los factores correspondientes. La diferencia entre las sumas de los productos así obtenidos y la de los productos correspondientes al arrufo normal dividida por 8, indica la deficiencia o exceso de arrufo en las mitades de proa o de popa.

La diferencia resulta:

$$\text{Arrufo popa} = -\frac{2010}{8} = 251 \text{ mm}$$

$$\text{Arrufo proa} = -\frac{5883}{8} = -735 \text{ mm}$$

Ahora es necesario calcular el exceso de arrufo debido a la cubierta castillo y toldilla:

$$s = \frac{y}{3} * \frac{L'}{L}$$

Siendo y la diferencia entre las alturas real y normal de superestructura, L' la longitud media de la parte cerrada de la toldilla o castillo y L la eslora del buque. Obtenemos:

$$s_{\text{castillo}} = 266 \text{ mm}$$

$$s_{\text{toldilla}} = 9 \text{ mm}$$

$$\text{Arrufo popa} = -251 + 9 = -242 \text{ mm}$$

$$\text{Arrufo proa} = -735 + 266 = -469 \text{ mm}$$

La media aritmética de los valores así obtenidos expresa el exceso o deficiencia de arrufo de la cubierta

$$\text{Defecto de arrufo} = -355 \text{ mm}$$

La corrección de arrufo se calculará multiplicando el defecto de arrufo por el factor $0,75 - \frac{s}{2L}$. Finalmente, la corrección por arrufo que deberá de sumarse al francobordo será:

$$\text{Corrección por arrufo} = 355 * \left(0,75 - \frac{144,3}{2 * 144,3}\right) = 355 * 0,25 = 89 \text{ mm}$$

3.2.13 Regla 39. Altura mínima de proa y reserva de flotabilidad

Según el Protocolo de 1988 relativo al Convenio Internacional sobre líneas de Carga de 1966, la altura de proa debe ser superior al valor obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$F_b = \left(6075 * \left(\frac{L}{100}\right) - 1875 * \left(\frac{L}{100}\right)^2 + 200 \left(\frac{L}{100}\right)^3\right) * (2,08 + 0,609 * C_b - 1,603 * C_{wf} - 0,0129 * (L/d_1))$$

Donde,

F_b es la altura mínima de proa en mm

L es la eslora de francobordo =144,3 m

B es la manga de trazado =24 m

d_1 el calado al 85% del puntal $D = 7,48$ m

C_b es el coeficiente de bloque calculado previamente =0,718

C_{wf} es el coeficiente del área de la flotación a proa de $L/2$:

$$C_{wf} = \frac{A_{wf}}{\frac{L}{2} * B}$$

A_{wf} es el área de la flotación a proa de $L/2$ para el calado d_1 en m^2 cuyo valor es igual a 1168 m^2 (valor obtenido con la herramienta medir área de AutoCAD sobre el plano de flotación a un calado de 7,48 metros). Con lo cual:

$$C_{wf} = \frac{1168}{\frac{144.3}{2} * 24} = 0,67$$

$$F_b = 6486 \text{ mm}$$

Como se puede observar, la altura de proa a 14,8 m cumple con la altura mínima.

Como el buque es de tipo B y tiene como función principal el traslado de pasajeros debe tener una reserva de flotabilidad en el extremo de proa. Por tanto, debe cumplirse que en la sección delimitada por $0.15L$ a proa de la perpendicular de proa, la suma del área proyectada entre la flotación de carga de verano y el borde de la cubierta de superestructura debe ser superior a:

$$(0.15 * F \min(L/3 + 10))L/1000$$

Siendo,

$$F_{min} = (F_0 * f_1) + f_2$$

F_0 el francobordo tabular

f_1 corrección por coeficiente de bloque

f_2 la corrección por puntal

Con lo que obtenemos que el área proyectada debe ser del al menos 78,02 m^2 . Sobre el plano medimos el área proyectada y obtenemos que es igual a 93,4 m^2 por lo que no existe corrección.

3.2.14 Regla 40. Francobordos mínimos

1. Francobordo de verano: será el francobordo tabulado con las correcciones pertinentes. Según el Convenio el francobordo en agua salada no deberá ser inferior a 50 mm.

$$Fb_{verano} = 2258 - 203 - 1070 + 89 = 1074$$

El calado de trazado del buque será:

$$\text{Calado de trazado} = \text{Puntal a la cubierta de } Fb - Fb_{verano}$$

$$\text{Calado de trazado} = 8,808 - \frac{1074}{1000} = 7,734 \text{ m}$$

Sin embargo, el buque ha sido proyectado para un calado de trazado de 6 metros, por lo que este será el que consideremos como calado de trazado.

$$\text{Calado de trazado} = 6 \text{ m}$$

El nuevo francobordo será, por tanto, el francobordo de verano calculado siguiendo el convenio más la diferencia entre calados:

$$Fb_{verano} = 1074 + 7734 - 6000 = 2808$$

2. El francobordo tropical: será el francobordo de verano obtenido restándole un cuarenta y ocho del calado de verano:

$$Fb_{tropical} = 2808 - \frac{6000}{48} = 2675$$

3. Francobordo de invierno: El francobordo mínimo de invierno será el francobordo obtenido añadiendo al francobordo de verano un cuarenta y ocho del calado de verano.

$$Fb_{tropical} = 2808 + \frac{6000}{48} = 2933$$

EL francobordo para el Atlántico Norte será el francobordo de invierno al ser la eslora superior a 100 metros.

4. Francobordo de agua dulce: se obtendrá restando al francobordo mínimo en agua salada:

$$\frac{\Delta}{40TCI} = \frac{14557}{40 * 30,2475} = 12$$

$$Fb_{agua dulce} = 1074 + 12 = 1062$$

Tabla 7: Francobordos mínimos

Francobordo	Valor	Unidad
Calado de verano	6000	mm
Francobordo de verano	2808	mm
Francobordo tropical	2683	mm
Francobordo de invierno	2933	mm
Francobordo de invierno en el Atlántico Norte	2933	mm
Francobordo en agua dulce	1062	mm

4 ARQUEO

El arqueo de un buque comprende el arqueo bruto y el neto.

4.1 Definición de términos

4.1.1 Cubierta superior

Es la cubierta completa más alta expuesta a la intemperie y a la mar dotada de medios permanentes de cierres estancos en todas las aberturas en la parte expuesta de la misma. Se tomará la cubierta 4 situada a 11,8 metros sobre la línea base al ser la cubierta más alta expuesta a la intemperie bajo la cual todos las aberturas en los costados tienen medios de cierre estancos.

4.1.2 Puntal de trazado

El puntal de trazado será la distancia desde el canto alto de la quilla hasta la cara inferior de la cubierta superior en el costado. Esta distancia es igual a 11,8 metros.

4.1.3 Manga

Será la manga del buque =24m

4.1.4 Espacio cerrado

Se considerará espacio cerrado a todos aquellos espacios limitados por el casco del buque, mamparos fijos o móviles y cubiertas o techos que no sean toldos. Se excluirán aquellos espacios destinados al espacio de equipos de amarre y fondeo por encontrarse abiertos a la intemperie.

El volumen de espacios cerrados se medirá en dos tramos:

- Volumen hasta la cubierta principal: este volumen se medirá con la ayuda del software MaxSurf para un calado igual al puntal hasta la cubierta 4.
- Volumen de espacios cerrados por encima de la cubierta 4: se medirá el área de los espacios cerrados por cubiertas en la disposición general del buque (Cuaderno 7) y se multiplicarán por la altura de los espacios.

Con lo que se obtiene un volumen de espacios cerrados igual a:

Tabla 8: Volumen de espacios cerrados

Cubierta	Área (m ²)	Altura (m)	Volumen (m ³)
1,2 y 3			31782
4	2820	3	8460
5	2208	3	6624
6	2004	3	6012
7	1833	3	5499
8	1745	3	5235
9	1525	3	4575
10	1190	3	3570
V (m ³)			71757

4.1.5 Pasajero

Serán pasajeros todas aquellas personas que se encuentra a bordo del buque y que no formen parte de la tripulación. Es decir, el número de pasajeros será igual a 360.

4.2 Arqueo bruto

El arqueo bruto de un buque (GT) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$GT = K_1 * V$$

Donde V es el volumen total de los espacios cerrados en el buque calculado previamente:

$$V = 71757 m^3$$

y K_1 es el valor obtenido aplicando la siguiente fórmula:

$$K_1 = 0,2 + 0,02 * \log_{10} V = 0,2 + 0,02 * \log_{10} 71757 = 0,297$$

Por lo tanto,

$$GT = 0,297 * 71.757 = 21.320$$

4.3 Arqueo neto

También disponemos de una fórmula para el cálculo del arqueo neto:

$$NT = K_2 * V_c * \left(\frac{4d}{3D}\right)^2 + K_3 * \left(N_1 + \frac{N_2}{10}\right)$$

Donde,

V_c es el volumen total de los espacios de carga. Este volumen se tomará igual a 0 ya que el buque no está destinado al transporte de carga.

$$K_2 = 0,2 + 0,02 * \log_{10} V_c$$

d es el calado de trazado

D es el puntal de trazado

K_3 es un coeficiente calculado a partir de la fórmula:

$$K_3 = 1,25 * \frac{GT + 10000}{10000} = 1,25 * \frac{21320,245 + 10000}{10000} = 3,915$$

N_1 es el número de pasajeros en camarotes que no tengan más de 8 literas =360

N_2 es el resto de pasajeros =0

Además, deben de cumplirse las siguientes condiciones:

- $\left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ no se tomará superior a 1
- $K_2 * V_c * \left(\frac{4d}{3D}\right)^2$ no se tomará inferior a 0.25GT=3050,061
- NT no se tomará inferior a 0.30GT = 6396,07

$$NT = 3050,061 + 3,915 * \left(360 + \frac{0}{10}\right) = 4459,461 < 6396,07 \rightarrow NT = 6.396 m^3$$

ANEXO IX.I: TABLAS HIDROSTÁTICAS

Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = 0 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	7,480
Displacement t	19067
Heel deg	0,0
Draft at FP m	7,480
Draft at AP m	7,480
Draft at LCF m	7,480
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	150,206
Beam max extents on WL m	24,082
Wetted Area m ²	4511,299
Waterpl. Area m ²	2991,351
Prismatic coeff. (Cp)	0,719
Block coeff. (Cb)	0,687
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,958
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,827
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	62,475
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	58,627
KB m	4,157
KG m	6,000
BMt m	6,858
BML m	224,455
GMt m	5,015
GML m	222,612
KMt m	11,015
KML m	228,611
Immersion (TPc) tonne/cm	30,661
MTc tonne.m	292,725
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	1668,788
Max deck inclination deg	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000

Hydrostatics - Buque crucero para 360 pasajeros

Stability 22.01.00.131, build: 131

Model file: C:\Users\luci_\OneDrive\Escritorio\Universidad\Trabajo de Fin de Grado\MaxSurf\Buque crucero para 360 pasajeros (High precision, 215 sections, Trimming on, Skin thickness not applied). Long. datum: AP; Vert. datum: Baseline. Analysis tolerance - ideal(worst case): Disp.‰: 0,01000(0,100); Trim‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100); Heel‰(LCG-TCG): 0,01000(0,100)

Damage Case - Intact

Fixed Trim = 0 m (+ve by stern)

Specific gravity = 1,025; (Density = 1,025 tonne/m³)

Draft Amidships m	11,800
Displacement t	32577
Heel deg	0,0
Draft at FP m	11,800
Draft at AP m	11,800
Draft at LCF m	11,800
Trim (+ve by stern) m	0,000
WL Length m	152,811
Beam max extents on WL m	26,003
Wetted Area m ²	6192,291
Waterpl. Area m ²	2900,072
Prismatic coeff. (Cp)	0,753
Block coeff. (Cb)	0,678
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,972
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,730
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	61,441
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	57,727
KB m	6,436
KG m	6,000
BMt m	4,211
BML m	130,863
GMt m	4,647
GML m	131,299
KMt m	10,647
KML m	137,299
Immersion (TPc) tonne/cm	29,726
MTc tonne.m	294,986
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	2642,212
Max deck inclination deg	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000

16

R-38 Sheer				Applicable
Standard Sheer Profile				
Station	Ordinate	Factor	Product	
After perpendicular	1451	1	1451	
1/6 L from A.P.	645	3	1935	
1/3 L from A.P.	163	3	489	
Amidships	0	1	0	After Sheer 3877
Amidships	0	1	0	
1/3 L from A.P.	325	3	975	
1/6 L from A.P.	1290	3	3870	
Forward perpendicular	2905	1	2905	Forward Sheer 7750

Sheer Profile					
Station	Ordinate	Sum for L=1	Total	Factor	Product
After perpendicular	0	700	700	1	700
1/6 L from A.P.	0	311	311	3	933
1/3 L from A.P.	0	78	78	3	234
Amidships	0	0	0	1	0
Amidships	0	0	0	1	0
1/3 L from F.P.	0	78	78	3	234
1/6 L from F.P.	0	311	311	3	933
Forward perpendicular	0	700	700	1	700

Forward and After corrections for Sheer be allowed	
Corrected After Product Difference	-2010
Corrected Forward Product Difference	-5883

Sheer credit for poop or forecastle			
	Real	Standard	Difference
Forecastle	6000	2300	3700
Poop	3000	2300	700

After Sheer variation -242
Forward Sheer variation -469
Sheer variation -355

Total length of enclosed superstructures (S1) 144,300 m
Extension in midships of superstructures (over L) 1 %

Factor 0.25 Correction 89 mm

Freeboard correction 89 mm

R-38 89

R-39.1 Minimum bow height				Applicable
Waterplane area forward of L/2 at draught d1 (Awf1)				1168.00 m2
L	144.3	d1	7.48	
B	24	Cb	0.7181	
		Cwf	0.67452067	
Minimum bow height (Fb)				6486 mm
Bow depth corrected for R39				14.8 m
Minimum bow height freeboard				494 mm
Salt water freeboard				1074 mm
R-39.1				0

R-39.2 Reserve of buoyancy				Applicable
F0	2196 mm			
F1	1,028			
F2	-203 mm			
Fmin	2055 mm			
Minimum projected area		78.02 m2		
Actual projected area		93.40 m2		
Freeboard correction		mm		
R-39.2				0

R-40 Minimum freeboards				Applicable
Minimum freeboard without R-32				50 mm
R-28	2196 mm	Freeboard in Salt Water	1074 mm	
R-29	mm			
R-30	82 mm	Minimum Summer Freeboard	1074 mm	
R-31	-203 mm	Maximum Summer Draught	7734 mm	
R-32.1	mm			
R-37	-1070 mm	Maximum Scantling Draught	6000 mm	
R-38	89 mm	Maximum Stability Draught	6500 mm	
Sum	1974 mm			
R-39.1	0 mm	Summer Freeboard	2808 mm	
R-39.2	0 mm	Summer Draught	6000 mm	
Sum	1974 mm	Tropical Freeboard	2683 mm	
		Winter Freeboard	2933 mm	
R-32	0 mm	Winter N Atlantic Freeboard	2933 mm	
		Fresh Water	1062 mm	



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo X

**CUADERNO 10: DEFINICIÓN DE LA PLANTA
PROPULSORA Y SUS AUXILIARES**



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 Justificación del motor propulsor	5
4 Justificación de la potencia de las máquinas primarias.....	8
5 Estimación del consumo de combustible y justificación de la autonomía.....	13
6 Sistemas auxiliares de la propulsión.....	16
6.1 Sistema de refrigeración.....	16
6.2 Sistema de combustible	28
6.2.1 Sistema de tratamiento del MDO	29
6.2.2 Sistema de suministro de combustible	32
6.3 Sistema de lubricación	38
6.4 Sistema de exhaustación	44
6.5 Sistema de aire de arranque	46
6.6 Sistema de vapor para los servicios de propulsión	49
7 Ventilación de la cámara de máquinas	51
7.1 Selección de los ventiladores y extractores	56
8 Disposición preliminar de la cámara de máquinas.....	57
9 lista de equipos	61
Anexo X.I: Catálogos comerciales.....	63

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es describir la configuración de la planta propulsora. Para ellos se definirán sus componentes, se justificará la adecuación de los motores principales seleccionados y se definirán los elementos auxiliares necesarios.

Finalmente, también se realizarán los planos de la disposición esquemática de la cámara de máquinas del buque en la que figurarán todos los elementos de propulsión y sus auxiliares, así como los elementos de los sistemas auxiliares del buque.

Para poder llevar a cabo este cuaderno, nos respaldaremos en los datos y parámetros obtenidos en los cuadernos previos.

Tabla 1: Resumen características buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos
Grupos generadores	4x3600	kW

3 JUSTIFICACIÓN DEL MOTOR PROPULSOR

Como establece la RPA, el buque proyecto debe llevar instalada una planta de propulsión de tipo diésel eléctrica. Este tipo de propulsión ofrece una serie de ventajas respecto a otro tipología de plantas, como, por ejemplo:

- Ahorro en el consumo de combustible y reducción de las emisiones
- Eficiencia mayor
- Alta confiabilidad y costes reducidos de ciclo de vida
- Gran maniobrabilidad
- Reducción del espacio y mayor flexibilidad en la ubicación de la C.M.
- Reducción de los ruidos y las vibraciones

El buque dispondrá de dos hélices azimutales a popa, lo cual nos permite mejorar la maniobrabilidad y evitar que el buque se quede sin servicio de propulsión en caso de avería de una de las hélices. Esto último es uno de los requisitos de los buques de tipo crucero ya que tiene que cumplir el “Safe Return to Port” (Vuelta Segura a Puerto), por este mismo motivo, como vimos en el cuaderno 4, la cámara de máquinas también estará dividida para evitar que en caso de incendio o avería queden inutilizados todos los grupos generadores.

Previamente en el cuaderno 6 se hizo una estimación de la resistencia al avance que sufre el buque a la velocidad de servicio lo cual permitió posteriormente estimar la potencia propulsora necesaria y dimensionar la hélice. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

$$P_{necesaria \text{ para vencer la resistencia al avance}} = 6101,5 \text{ kW}$$

$$P_{motor} = 3211.3 \text{ kW}$$

* Para la obtención de la potencia del motor se tuvo en cuenta un rendimiento del motor eléctrico del 95% aunque, este valor puede ser superior y ubicarse en el rango entre 96-97%.

Para elegir el motor propulsor en base a los resultados obtenidos se accedió al catálogo de la empresa ABB, una de las multinacionales líder en el sector de la ingeniería eléctrica. Se decidió acudir a este fabricante siguiendo al buque de referencia. Por tanto, se decide la instalación del sistema de propulsión Azipod de ABB que consiste en un sistema de propulsión orientable sin reductoras donde el motor de accionamiento eléctrico se encuentra en una cápsula sumergida fuera del casco del barco. Los sistemas de propulsión POD son un tipo de propulsión azimutal que se diferencia por la localización del motor eléctrico debido a que en la propulsión azimutal corriente las máquinas accionadoras se encuentran en el interior del buque y no en cápsulas sumergidas. Por tanto, como cada hélice lleva implementado su motor eléctrico, el buque irá provisto de 2 motores eléctricos, uno por cada hélice de popa.

Para seleccionar el motor propulsor más adecuado estudiamos la tabla que propulsores que ofrece ABB y seleccionamos el modelo CO1250 con una potencia nominal de 3800 kW. Por tanto, se dispondría de una potencia total de $3800 \times 2 = 7600 \text{ kW}$ que como podemos comprobar cumple con la potencia total requerida para satisfacer las necesidades indicadas en la RPA. Tras el estudio de la hélice con el motor eléctrico seleccionado, se obtienen los siguientes resultados:

$$\text{Diámetro del propulsor} = 3 \text{ m}$$

$$RPM = 220 \text{ rpm}$$

$$\text{Velocidad del buque} = 16 \text{ nudos}$$

$$\text{Potencia} = 6038,2 \text{ kW}$$

En la siguiente imagen se muestra un esquema de los elementos funcionales de un Azipod CO, así como un diagrama donde figura la potencia de salida en función de las revoluciones por minuto:

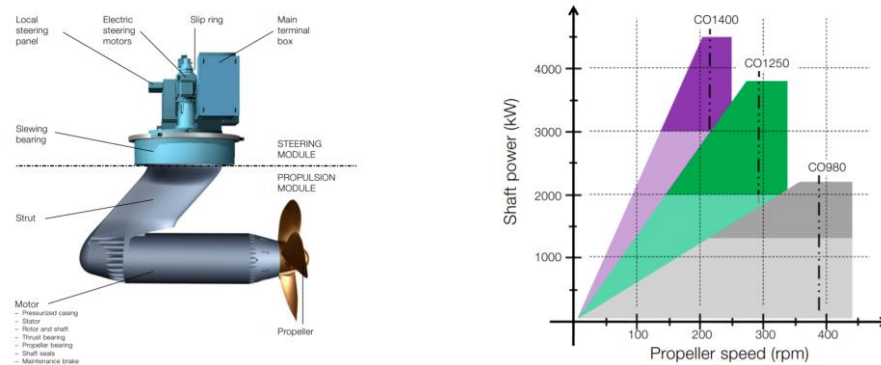


Figura 1: Características motor propulsor. ABB.

En la siguiente imagen sacada del catálogo de ABB se muestra un diagrama unifilar simplificado de la planta eléctrica del sistema de propulsión, en la que figuran los elementos que la conforman:

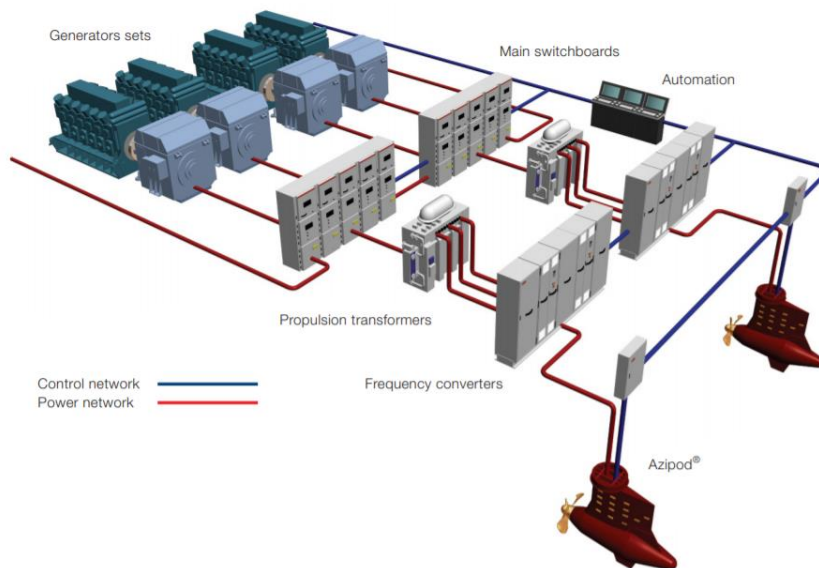


Figura 2: Ejemplo instalación planta propulsora. ABB.

Como se puede apreciar en el esquema, la planta propulsora necesitará de unas plantas generadoras que serán las encargadas de generar la energía eléctrica que requerirá el motor propulsor. Se dispondrán 4 generadores en la cámara de máquinas que estarán constituidos por 4 motores diésel de cuatro tiempos, cada uno de los motores contará con un alternador que es una máquina eléctrica, capaz de transformar la energía mecánica obtenida en los motores diésel en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética. Los generadores se encontrarán ubicados en grupos de 2 en las dos cámaras de máquinas separadas por mamparos de clase A. La capacidad de los grupos generadores debe ser tal que es capaz de suministrar potencia a todos los consumidores del buque, tanto a la propulsión y sus auxiliares como al resto de sistemas y equipos (HVAC, medios de fonda y hotel, lastre y achique de sentinas...). La potencia de los grupos generadores se justificará más adelante.

Un diagrama unifilar típico de los buques de pasaje se muestra a continuación. Como se puede apreciar, la planta eléctrica de los buques destinados al transporte de pasajeros se caracteriza por una configuración compleja con un alto grado de redundancia en los equipos de la planta propulsora para cumplir el "Safe Return to Port". Además, el confort a bordo también supone una característica de vital importancia por lo que niveles bajos de vibraciones y ruidos son requeridos.

A parte de los generados principales, la planta eléctrica cuenta con un cuadro de distribución principal con un disyuntor para evitar que la caída de uno de los lados de la planta afecte a todo el conjunto. También se dispone de convertidores de frecuencia que pueden ser del tipo ACS 800 Propulsion Power Drive del mismo fabricante que las hélices, ABB. La selección del convertidor se lleva a cabo siguiendo las indicaciones del propio fabricante. Los convertidores de frecuencia son los dispositivos encargados de variar la velocidad de la hélice para que se ajuste a las condiciones de la navegación. Los transformadores de suministro son opcionales y dependerán del tipo de convertidor usado, en este caso no se requieren debido a que el convertidor elegido se trata de un convertidor de frente activo.

- Three main generators
- Propulsion switchboard 690 V with a tie breaker
- Two ACS 800 marine Propulsion Power Drive frequency converters
- Two Azipod CO1400 steering propulsors
- Bow thruster with electrically driven motor
- Two ship service transformers 690V/440V
- 440V switchboard
- Total Harmonics Distortion (THD) Filters
- UPS and UPS supply panel
- Two low voltage transformers 440V/220V
- 220V switchboard / panel
- Emergency generator

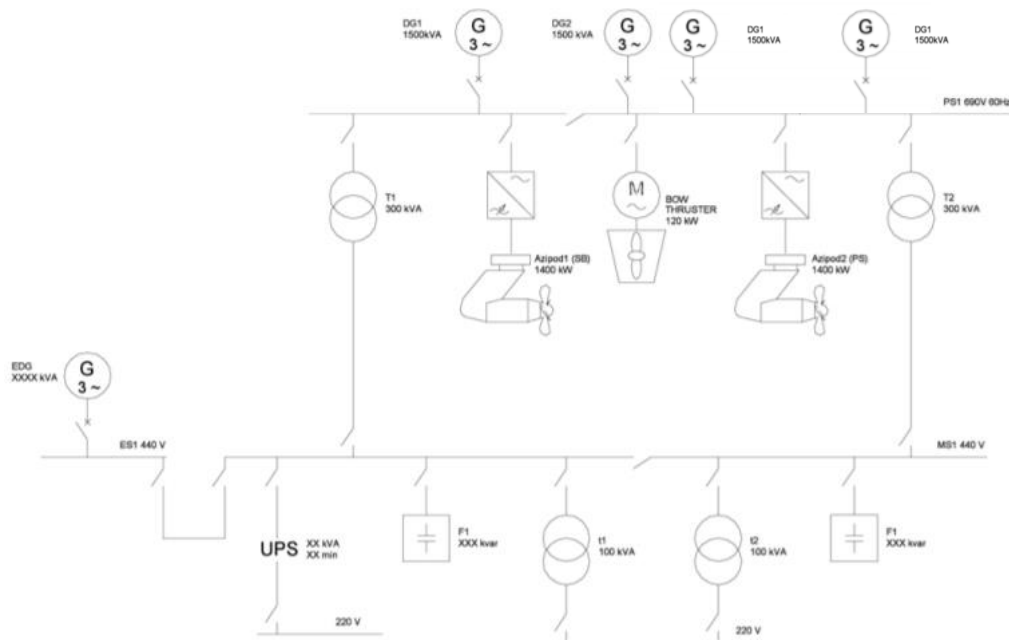


Figura 3: Ejemplo de una planta eléctrica típica. ABB.

4 JUSTIFICACIÓN DE LA POTENCIA DE LAS MÁQUINAS PRIMARIAS

Como se ha visto en el cuaderno 6 dispondremos de dos Azipods a popa que irán accionados por dos motores eléctricos con una potencia de 3800 kW. Esta potencia se corresponde con la potencia entregada por el motor eléctrico, sin embargo, no toda ella es utilizada en la propulsión debido a que sufre pérdidas debido al efecto del agua y del aire. En el catálogo de ABB podemos comprobar que el motor eléctrico se trata de un motor síncrono de imanes permanentes que acciona una hélice de paso fijo que se monta directamente sobre el eje del motor, por tanto, no llevan reductoras.

De la guía de propulsión eléctrica de MAN, que será el proveedor de las máquinas primarias, se obtiene la siguiente imagen en la que figuran las eficiencias típicas de los componentes de la planta propulsora:

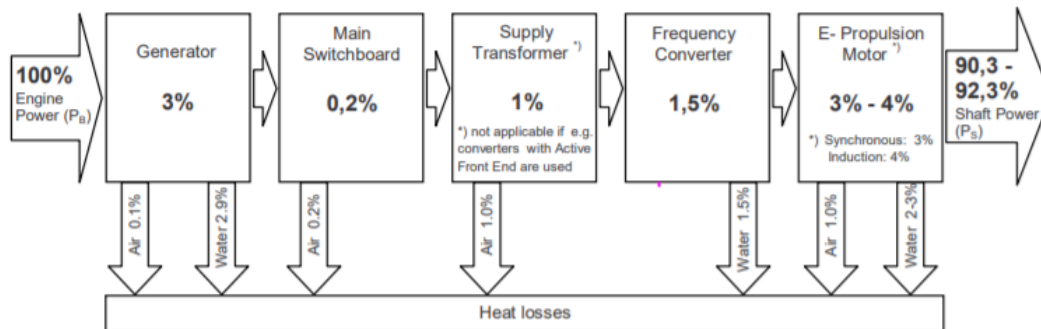


Figura 4: Esquema eficiencias planta propulsora. MAN.

Obtenemos que el motor eléctrico puede tener unas pérdidas del 3 o 4 % en función del tipo de motor del que se trate. Por tratarse de un motor síncrono tomaremos una eficiencia del 97% como indica la imagen. Según los datos obtenidos en el cuadernos 6 y que acabamos de recordar en el apartado anterior, obtenemos la potencia mínima requerida para la propulsión del buque a la velocidad de servicio:

$$P_{disponible} = 3800 \text{ kW}$$

$$P_{necesaria-eje} = \frac{6038,2}{2} = 3019.1 \text{ kW}$$

Como se puede apreciar, la potencia mínima requerida para propulsar el buque es menor que la potencia de la que se dispone:

$$P_{necesaria-eje} = 3019.1 \text{ kW} < P_{disponible} = 3800 \text{ kW}$$

Si consideremos que el motor tiene unas pérdidas del 3%, la potencia consumida por el motor eléctrico para proporcionar la potencia necesaria en el eje será:

$$P_{min-motor} = \frac{3019.1}{0.97} = 3112.5 \frac{\text{kW}}{\text{motor}}$$

Y por tanto podemos concluir que, con una potencia a la entrada del motor propulsor de 3112.5 kW será suficiente para que el buque pueda navegar a una velocidad de 16 nudos como indica la RPA.

El siguiente componente de la planta eléctrica donde se producirán pérdidas son los convertidores de frecuencia, para conocer las pérdidas de potencia que tienen lugar en los convertidores acudimos al catálogo de los convertidores seleccionados (ACS 800 Propulsion Power Drive) de donde obtenemos que la eficiencia del convertidor es de un 98%.

Wall-mounted drives, ACS800-01 for marine applications

The type approved ACS800-01 marine drive provides advanced reliability and availability at sea. The drive fulfils marine and offshore requirements, and the design and operation have been tested according to marine type approval requirements. The ACS800-01 has marine type approvals from ABS, BV, DNV, GL, Lloyd's, and RINA.

Mains connection	
Voltage and power range	3-phase, $U_{\text{LIN}} = 208$ to 240 V, $\pm 10\%$, except -07, -07LC, -17, -17LC, -37, -37LC 3-phase, $U_{\text{LIN}} = 380$ to 415 V, $\pm 10\%$ 3-phase, $U_{\text{LIN}} = 380$ to 500 V, $\pm 10\%$ 3-phase, $U_{\text{LIN}} = 525$ to 690 V, $\pm 10\%$ (600 V UL, CSA)
Frequency	48 to 63 Hz
Power factor	$\cos\phi = 0.98$ (fundamental) $\cos\phi = 0.93$ to 0.95 (total)
Power factor (ACS800-11/-31/-17/-17LC/-37/-37LC)	$\cos\phi = 1$ (fundamental) $\cos\phi = 0.99$ (total)
Efficiency (at nominal power)	
ACS800-0x	98%
ACS800-1x/-3x	97%

Figura 5: Características convertidor de frecuencia. ABB.

Las pérdidas en el cuadro de distribución principal suelen encontrarse alrededor del 0.2% como nos indica la guía de MAN.

Finalmente, si consideramos todas las pérdidas, la potencia en bornes del alternador necesaria para la propulsión será:

$$P_{\text{min-motor}} / (0.98 * 0.998) = 3112.5 / (0.98 * 0.998) = 3182 \frac{\text{kW}}{\text{motor}}$$

$$P_{\text{en bornes propulsión}} * 2 = 3182 * 2 = 6365 \text{ kW}$$

Como nuestro buque dispone de propulsión diésel eléctrica para conocer la potencia total en bornes del alternador debemos de considerar la potencia eléctrica total de propulsión, así como la potencia eléctrica requerida para el servicio de la condición más demandante. La potencia eléctrica total de servicio se calculará en el cuaderno número 11 pero como de momento no conocemos su valor consideraremos la potencia total del buque de referencia. Una vez realizado el cuaderno 11 será necesario comprobar que los motores preseleccionados se adecuan al comportamiento real del buque.

El buque de referencia está provisto de cuatro motores del fabricante alemán MAN con una potencia de 3600 kW cada uno y de dos hélices Azipods de 4600 kW cada una. Por tanto, consta de una potencia total de $3600 * 4 = 14400$ kW de los cuales 9700 kW están destinados a la propulsión ($9700 \text{ kW} = \frac{9200 \text{ kW}}{0.97 * 0.98 * 0.998}$). Como se puede observar, la potencia necesaria para la propulsión es un poco superior a la del buque proyecto, por lo que en esta primera estimación se considerará que una potencia total del motor de 14400 kW también será suficiente para el buque proyecto.

Al tratarse de un buque con propulsión diésel eléctrica los motores principales son aquellos acoplados al alternador cuya función es generar energía eléctrica que abastecerá tanto a los motores propulsores como al resto de consumidores del buque. A la hora de la selección del motor principal es necesario tener en cuenta diversos factores, como por ejemplo la potencia, las dimensiones y la facilidad de desmontaje, su consumo o sus precio tanto de adquisición como de mantenimiento. La planta generadora se diseñará para el 85%

del MCR dado que la RPA del buque proyecto no establece un criterio en relación con esta decisión, pero es el valor más habitual.

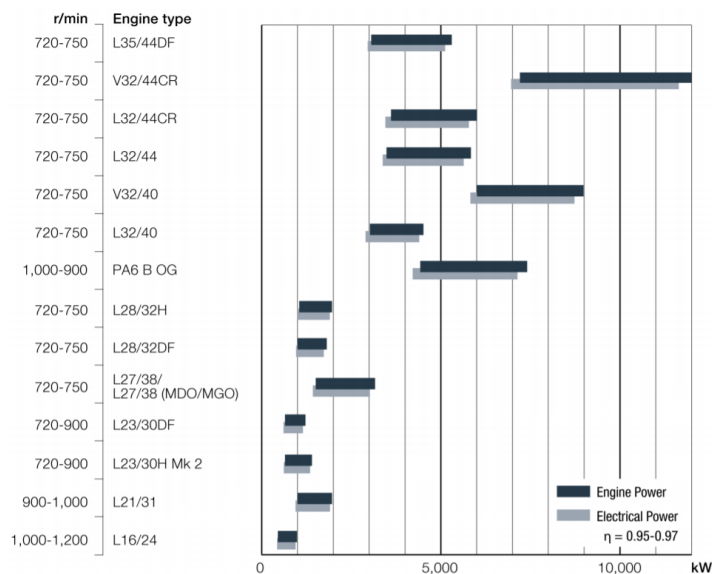


Figure 1: MAN Energy Solutions engine programme

Figura 6: Motores ofertados por el fabricante. MAN.

Finalmente, para seleccionar el motor diésel se acude al catálogo de MAN. Como se puede apreciar en la imagen superior varios modelos pueden entregar la potencia necesaria, entre ellos el modelo L32/40 y L32/44CR, finalmente el modelo L32/44CR es que el mejor se adapta a nuestros requisitos y sus ventaja, según establece el fabricante, son:

- Alta eficiencia y fiabilidad
- Bajas emisiones
- Bajos costes de operación y de ciclo de vida
- Largos intervalos de mantenimiento y vida útil
- Alta fiabilidad
- Alta potencia de salida específica

Es preciso, tener en cuenta que la potencia que suministra el motor no será la misma que la disponible en bornes del alternador debido a las pérdidas que sufre este componente. Las pérdidas del generador supondrán alrededor del 3.5% de la potencia. Por tanto, suponiendo una potencia total de 14400kW operando al 85% lo cual equivale a $14400 \times 0.85 = 12240$ kW y unas pérdidas del 3.5% en el generador, la potencia eléctrica en bornes del alternador será de 11812kW en total, es decir, de 2953 kW en cada uno de los generadores que forman parte de la planta propulsora.

El propio catálogo de MAN ya nos proporciona una tabla en la que figuran la potencia entregada por cada motor y por el generador:

Output					
Speed	750	750	720	720	rpm
Frequency	50	50	60	60	Hz
	Eng.	Gen.*	Eng.	Gen.*	
MAN 6L32/44CR	3,600	3,474	3,600	3,474	kW
MAN 7L32/44CR**	4,060	3,918	4,060	3,918	kW
MAN 8L32/44CR	4,800	4,632	4,800	4,632	kW
MAN 9L32/44CR	5,400	5,211	5,400	5,211	kW
MAN 10L32/44CR	6,000	5,790	6,000	5,790	kW

*Based on nominal generator efficiencies of 96.5 %
** 580 kW/cyl
Last Updated January 2018

Figura 7: Potencia entregada grupo generador. MAN.

Por tanto, el motor diésel seleccionado será el motor MAN 6L32/44CR GENSET con una potencia de 3600 kW y de 3.474 kW en el generador operando al 100%.

General

- Engine cycle: Four-Stroke
- No. of cylinders: 6, 7, 8, 9, 10
- Bore: 320 mm – Stroke: 440 mm
- Swept volume per cyl: 35.4 dm³

Fuel consumption at 85% MCR*

- SFOC: 172 g/kWh
- SFOC (7 cyl.): 173 g/kWh, 580 kW

Cylinder output (MCR)

- At 750/720 rpm: 600 kW
- At 750/720 rpm: 580 kW (7 cyl.)
- Power-to-weight ratio: 16.2 – 19.7 kg/kW

Compliance with emission regulations*

- IMO Tier II
- IMO Tier III (with MAN SCR)
- EPA Tier 2

Main features

- Turbocharging system**
High efficiency constant pressure MAN TCR series exhaust turbocharging system

Engine automation and control

MAN in-house developed engine attached Safety and Control System SaCoS_{one}

Fuel system

Advanced MAN electronic Common Rail injection system

Lube oil system

Attached lube oil automatic filter

Cooling system

2-string high and low temperature cooling water systems

Starting system

Pressurized air starter (turbine type)

Engine mounting

Direct resilient mounting of the engine on the foundation frame (cone elements)

Optional equipment

- ECOMAP concept – using of different IMO Tier II-compliant injection maps to improve fuel economy
- Frame Auxiliary Box (FAB) attached at engine free end available

MCR = Maximum Continuous Rating | SCR = Selective Catalytic Reduction | SFOC = Specific Fuel Oil Consumption
*According to IMO E2 test cycle

Figura 8: Especificaciones técnicas grupo generador. MAN.

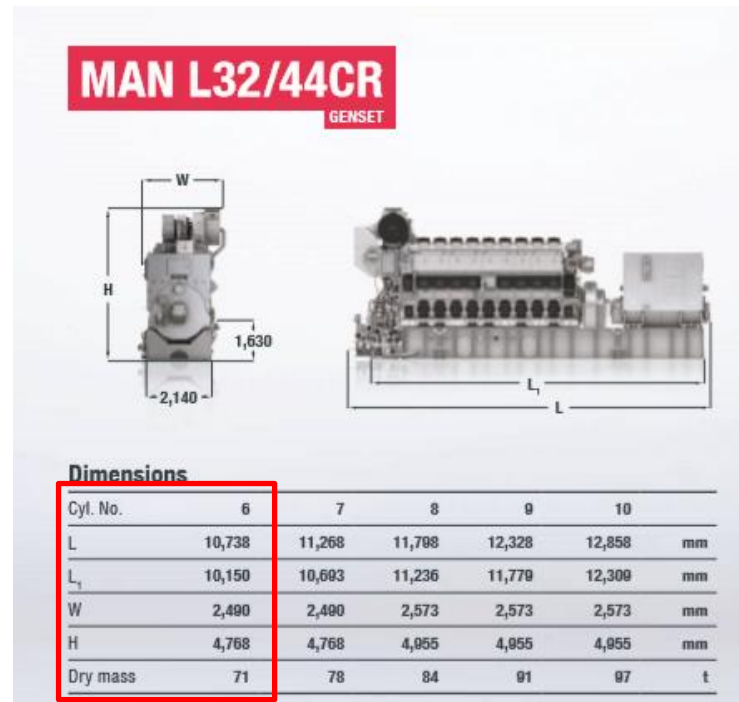


Figura 9: Dimensiones grupo generador. MAN.

Por tanto, el buque irá provisto de cuatro grupos generadores dimensionados de tal forma que en caso de avería de uno de ellos el buque siga siendo capaz de afrontar la condición de consumo más exigente.

5 ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y JUSTIFICACIÓN DE LA AUTONOMÍA

La capacidad de los tanques de combustible debe ser tal que nos permita disponer de la cantidad necesaria de combustible para satisfacer los requisitos de autonomía y velocidad dispuestos en la RPA del buque proyecto. La RPA nos establece una autonomía de 6000 millas a una velocidad de 16 nudos y se dimensionarán los tanques de diésel (MDO) considerando los motores principales operando al 85% de su capacidad máxima, como se ha visto en el aparatado anterior.

En el cuaderno 4, con el fin de realizar el compartimentado del buque, se hizo un estudio preliminar del consumo del buque que permitiese dimensionar los tanques de MDO. De este estudio se obtuvo un volumen total de tanques de combustible de 1130 m³ repartidos en 4 tanques almacén, 2 tanques de uso diario 1 tanque de derrames:

Tabla 2: Estudio preliminar tanques

	Tanques	Volumen necesario (m ³)	Volumen real (m ³)
Combustible	Almacén	920,9	990,474
	Uso diario	64	69,346
	Derrames	13,3	17,951
	TOTAL	998,2	1077,771

Por tanto, será necesario comprobar que los tanques disponibles cubren el servicio necesario de Diesel Oil una vez conocido los motores principales seleccionados. Para ello nos basaremos en lo establecido en la Project Guide del motor seleccionado (MAN 6L32/44CR GenSet), donde figuran los datos técnicos del motor como los consumo específicos de diésel o aceite.

Engine speed	720 rpm					750 rpm				
% Load	100	85 ¹⁾	75	50	25	100	85 ¹⁾	75	50	25
Specific fuel consumption (g/kWh) with HFO or MDO (DMB) without attached pumps ^{2) 3) 4) 5)}	177.5	176.0	179.5	187.0	202.0	178.0	176.5	180.0	188.0	204.0
Specific fuel consumption (g/kWh) with MGO (DMA, DMB) without attached pumps ^{2) 3) 4) 5)}	176.5	175.0	178.5	185.5	200.0	177.5	175.5	179.0	186.0	202.5
¹⁾ Warranted fuel consumption at 85 % MCR. ²⁾ Tolerance for warranty +5 %. Note: The additions to fuel consumption must be considered before the tolerance for warranty is taken into account. ³⁾ Based on reference conditions, see table Reference conditions for fuel consumption, Page 56 . ⁴⁾ Relevant for engine's certification for compliance with the NO _x limits according D2 Test cycle. ⁵⁾ For consideration of fuel leakage amount consider table Leakage rate, Page 68 .										

Table 21: Fuel oil consumption MAN L32/44 – Auxiliary GenSet

Figura 10: Consumo de combustible del grupo generador. Project Guide.

Additions to fuel consumption

1. Engine driven pumps increase the fuel consumption by:

(A percentage addition to the load specific fuel consumption for the sp load [%] has to be considered).

For HT CW service pump (attached)

$$0.29 \times \left(\frac{100\%}{\text{load}\%} \right) \%$$

For all lube oil service pumps (attached)

GenSet, electric propulsion:

$$1.26 \times \left(\frac{100\%}{\text{load}\%} \right) \%$$

load %: Actual load in [%] referred to the nominal output "100 %".

Como se puede apreciar el consumo específico de combustible de los motores principales a un régimen del 85% MCR es de 176.5g/kWh más el que hay que añadir las adiciones de combustible. Para el caso del buque proyecto solo es necesario incluir las bombas arrastradas por el motor que son las bombas de agua de alta temperatura (HT) y las bombas de lubricación (LO):

$$f_{HT\ CW} = 0.29 \times \left(\frac{100\%}{\text{load}\%} \right) \% = 0.29 \times \left(\frac{100\%}{85\%} \right) = 0.34\%$$

$$f_{LO} = 1.26 \times \left(\frac{100\%}{\text{Load}\%} \right) \% = 1.26 \times \left(\frac{100\%}{85\%} \right) = 1.48\%$$

$$f_{bombas} = (0.34\% + 1.48\%) = 1.82\%$$

$$\text{Consumo} = 176.5g/kWh + 1.82\% = 179.72\ g/kWh$$

El consumo total de MDO puede calcularse siguiendo la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo MDO} = \text{Horas de navegación} \times \text{Consumo} \left(\frac{g}{kW \times h} \right) \times \text{Potencia} \times \text{Régimen}$$

Las horas de navegación representarán el máximo número de horas de navegación ininterrumpida para el cual se ha de diseñar el buque:

$$T_{navegación} = \frac{\text{autonomía}}{\text{velocidad}} = \frac{6000}{16} = 375\ h = 15.625\ \text{días} \approx 16\ \text{días}$$

Por lo cual, el consumo total de combustible teniendo en cuenta la autonomía y la velocidad del buque resulta:

$$\text{Consumo MDO} = 375\ h \times 179.72 \times 14400 \times 0.85 = 824914800g = 824.9148\ t = 970.5\ m^3$$

Conociendo la densidad del diésel podemos conocer el volumen total de tanques de combustible necesario:

$$V_{MDO} = \frac{824.9148}{0.85} = 970.488\ m^3$$

Para considerar el volumen de fugas se debe de tener en cuenta la siguiente tabla:

Max. leak rate		Max. leakage rate injection nozzle		Burst leakage rate in case of pipe break (for max. 1 min)
l/cyl. x h		l/cyl. x h		l/min
HFO	MGO/MDO	HFO	MGO/MDO	HFO, MGO/MDO
0.4	1.0	0.02	0.04	4.0

Table 49: Leakage rate – MAN 32/40 GenSet with SP injection pumps

Figura 11: Ratio de fugas. Project Guide.

$$V_{fugas} = \max. \text{leak rate} \left(\frac{l}{cyl} * h \right) * cyl * h = 1 * 6 * 375 = 2250 l = 2.25 m^3$$

Por tanto, el volumen mínimo de los tanques de combustible para que el buque disponga del fuel necesario para su operación cumpliendo los requisitos de autonomía y velocidad es inferior al volumen total de tanques disponible.

$$V_{MDO} = 970.488 m^3 + 2.25 m^3 = 972.738 m^3 < V_{tanques} = 990,474 m^3$$

A continuación, se muestra una tabla donde figuran los tanques del buque destinados al alojamiento del combustible y su capacidad.

Tabla 3: Capacidad de los tanques a bordo

Tanque	Capacidad (m ³)
Almacén 1	253,809
Almacén 2	241,428
Almacén 3	241,428
Almacén 4	253,809
Uso diario 1	34,673
Uso diario 2	34,673
Derrames	17,951

Si ordenamos los tanques en función de su finalidad y comparamos el nuevo volumen necesario, obtenido para cada tipología de tanque como se explica en el cuaderno 4, y el volumen real, obtenemos el margen disponible:

Tabla 4: Comparación volúmenes tanques y margen

	Volumen necesario (m ³)	Volumen real (m ³)	Margen (m ³)	
Combustible	Almacén	897,51	990,474	92,96108 9%
	Uso diario	62,26	69,346	7,090768 10%
	Derrames	12,97	17,951	4,98116 28%
	TOTAL	972,737992	1077,771	105,033008 10%

Resumiendo, según se obtiene de la guía del motor empleado se requieren de 972.7 m³ de capacidad de combustible para que el crucero cumpla los requisitos establecidos en la RPA. Sin embargo, disponemos de un 10% más de volumen. De este 10% un porcentaje estará destinado a cubrir un margen de no aspirables, hierros... etc. que tomaremos como un 5%. Es decir, $1077.771 * 0.95 = 1023.8 m^3$ a lo cual tenemos que restar los 2.25 m³ calculados de fugas y obtenemos 1021.63 m³ de combustible útil para la generación de energía en los motores principales, con lo que obtenemos una autonomía de:

$$Consumo_{MDO} = \rho * V_{MDO} = 0.85 * 1021.63 = 868.39 t$$

$$\begin{aligned} \text{Horas de navegación} &= \frac{Consumo_{MDO} * 10^6}{Consumo * Potencia * Régimen} = \frac{868.39 * 10^6}{179.72 * 14400 * 0.85} \\ &= 394.76 \text{ horas} \end{aligned}$$

$$\text{Autonomía} = \text{Horas de navegación} * \text{Velocidad} = 394.76 * 16 = 6316.2 \text{ millas}$$

6 SISTEMAS AUXILIARES DE LA PROPULSIÓN

En este apartado se definirán los sistemas auxiliares relacionados con la propulsión. Se determinarán los sistemas auxiliares de los motores de los grupos generadores de acuerdo con lo prescrito en la guía de proyecto del fabricante.

La guía proyecto empelada será la del motor seleccionado L32/44CR del fabricante MAN para el grupo generador:

*MAN L32/44 GenSet
Project Guide – Marine
Four-Stroke diesel engine
Compliant with IMO Tier II
Revision 11.2015/1.3*

Como ya se ha visto, los cuatro motores se instalarán en dos compartimentos separados por un mamparo resistente al fuego, de modo que como mínimo habrá dos servicios auxiliares completos de cada tipo (uno para abastecer a cada par de motores en cada cámara de máquinas) de forma que en caso de avería de una de las cámaras de máquinas el buque no queda sin servicio, exceptuando que el fabricante recomiende la instalación de un equipo independiente por motor. Los sistemas auxiliares se dimensionarán, por tanto, para dos motores trabajando simultáneamente, salvo aquellos que abastezcan a un único motor. Además, existirá una interconexión entre los sistemas de cada cámara de máquinas. De esta forma, en caso de avería, un sistema podría dar servicio a dos grupos generadores de dos cámara de máquinas independientes. Los equipos se dispondrán en la cubierta 1 en las proximidades de los motores.

A continuación, se realizará el cálculo de los sistemas auxiliares y al final se hará una lista de equipos a modo de resumen.

6.1 Sistema de refrigeración

Durante el proceso de combustión en el motor diésel una parte de la energía se convierte en energía mecánica, mientras que la otra parte permanece como calor residual y debe ser disipada. Este calor se debe eliminar enfriando las camisas del cilindro, las válvulas de inyección de combustible, el aire de carga y el aceite lubricante con agua circulante. Fuera del motor también es necesario disipar las cargas de calor, como por ejemplo en el alternador o en el combustible diésel. Disipar todo el calor del sistema es el propósito del sistema de refrigeración.

Para el proyecto se decide, equipar el buque con dos servicios de refrigeración independientes, cada uno de los cuales está al cargo de dos motores, a excepción de las unidades de precalentamiento, de las que habrá una por motor para poder operarlas con mayor independencia.

Cada uno de los sistema de refrigeración está formado por un sistema central y por dos subsistemas o circuitos uno a baja temperatura (LT, del inglés Low Temperature) y otro a alta temperatura (HT, High Temperature). El sistema de refrigeración está diseñado para operar únicamente con agua dulce, tratada previamente. Existe, por otra parte, un circuito de agua salada que aspira del colector, conectado a las tomas de mar del buque, y bombea hasta el intercambiador de calor para enfriar el circuito LT. El agua dulce de enfriamiento empleada debe cumplir los siguientes requisitos:

Properties/Characteristic	Properties	Unit
Water type	Distillate or fresh water, free of foreign matter.	–
Total hardness	max. 10	dGH ⁽¹⁾
pH value	6.5 – 8	–
Chloride ion content	max. 50	mg/l ⁽²⁾

Table 144: Properties of coolant that must be complied with

Figura 12: Propiedades del refrigerante. Project Guide.

El sistema de agua de enfriamiento LT incluye intercambiadores de calor, donde se enfría el agua del circuito con agua del mar para conseguir enfriar el aire de carga, el aceite lubricante, la boquilla de inyección de combustible y el alternador. La temperatura del agua de enfriamiento LT está regulada por la planta de control a una temperatura entre 32 y 38°C.

El sistema de agua de enfriamiento HT elimina el calor del aire de carga, las camisas de cilindro y las culatas. Los componentes del sistema HT están diseñados para proporcionar una temperatura de entrada de agua de 60°C y una temperatura de salida de casi 90°C. La temperatura de entrada se obtiene mediante un precalentador mientras el motor se encuentra en modo de espera y en el enfriador tras haber atemperado los elementos del motor.

La instalación del sistema de refrigeración puede hacerse de múltiples maneras y la guía ofrece dos posibilidades: la primera opción consiste en un sistema central en el cual, los circuitos de LT y HT están interconectados por lo que existe un único enfriador y la segunda opción es que exista un enfriador tanto para el circuito LT como HT. En nuestro buque se instalará la primera, por ser la que viene definida mediante los diagramas en la guía y la que supone un menor volumen de tuberías. En este tipo de instalaciones la bomba de agua HT (HT cooling water service pump, attached) extrae el agua de entrada directamente del circuito de salida LT y tras haber absorbido el calor disipado en el motor y en el enfriador de aire, es bombeado de nuevo al circuito LT donde el calor será disipado en el enfriador principal de LT. A continuación, se muestra un esquema sencillo con un único motor de la instalación seleccionada:

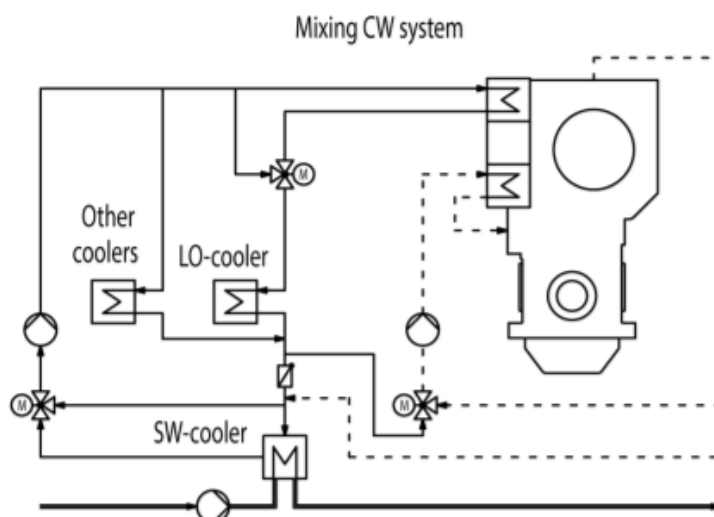


Figure 112: Basic schemes of cooling water concepts

Figura 13: Esquema básico del sistema de refrigeración. Project Guide.

Por tanto, para poder dimensionar el sistema de refrigeración es necesario conocer y calcular los diferentes elementos que conforman el sistema.

- Sistema de agua de refrigeración LT
 - Bombas de agua dulce del circuito de baja temperatura (P-076/LT cooling water pump)

Con el fin de aumentar la seguridad de operación, se deben disponer al menos de dos bombas de refrigeración de agua dulce en el circuito LT, una en servicio y otra en stand-by. Estas bombas son comunes para los dos motores de cada uno de los sistemas de agua de refrigeración. Una bomba más pequeña puede ser instalada para la operación en puerto con el fin de minimizar el consumo de potencia.

La guía del motor recomienda el uso de bombas eléctricas para las bombas de circulación del circuito LT. Las tasas de suministro de las bombas vienen determinadas principalmente por el agua de enfriamiento requerida para el enfriador de aire de carga y los otros enfriadores. En caso de que el alternador sea enfriado por agua es necesario tener en cuenta el caudal adicional de agua de enfriamiento, como no disponemos de información sobre el alternador, supondremos que este no es refrigerado por agua.

No. of cylinders, config.		6L	8L	9L	10L
Charge air:	kW				
Charge air cooler (HT stage)		995	1,310	1,500	1,629
Charge air cooler (LT stage)		419	574	619	726
Lube oil cooler ²⁾		297	396	445	495
Jacket cooling		469	626	704	782
Nozzle cooling		14	18	21	23
Heat radiation (engine, based on engine room temp. 55 °C)		111	148	166	185
Flow rates³⁾					
HT circuit (Jacket cooling + charge air cooler HT)	m³/h	42	56	63	70
LT circuit (Lube oil cooler + charge air cooler LT)		66	88	99	110
Lube oil including flushing oil amount of attached lube oil automatic filter of 14 m³/h		105	124	133,5	143
Nozzle cooling		1.0	1.4	1.6	1.8
Pumps					
a) Attached					
HT CW service pump	m³/h	42	56	63	70
LT CW service pump		66	88	99	110
Lube oil service pump for application with constant speed		120	141	162	162
b) Free-standing⁴⁾					
HT CW stand-by pump	m³/h	42	56	63	70
LT CW stand-by pump		Depending on plant design			
Lube oil stand-by pump		110	130	140	150
Prelubrication pump (0.3 – 0.6)		26	31	34	36
Nozzle CW pump		1.0	1.4	1.6	1.8
MGO/MDO supply pump		2.3	3.1	3.5	3.9
HFO supply pump		1.2	1.6	1.7	1.9
HFO circulating pump		2.3	3.1	3.5	3.9

Table 28: Nominal values for cooler specification – MAN L32/44 IMO Tier II – Auxiliary GenSet

Figura 14: Valores nominales para el sistema de refrigeración. Project Guide.

Como se puede comprobar en la tabla, la guía proporciona un valor del caudal de la bomba de LT cuando es arrastrada por el motor pero, siguiendo las recomendaciones del manual, se opta por la instalación de bombas eléctrica independientes y la guía nos indica que su caudal dependerá del diseño de la planta. Como se decide instalar los enfriadores del aire de carga y del lubricante en serie para reducir el caudal de la bomba, tomaremos el indicado para las bombas arrastradas por el motor como guía. Como las bombas son para

dos motores el caudal tendrá que ser el doble. Es decir, $Q_{LT\ CW} = 66 \frac{m^3}{h} * 2 = 132m^3/h$ y las bombas de stand by estará dimensionada para poder operar sola al 100%.

LT cooling water – Plant		
	Min.	Max.
Permitted pressure loss of external LT system (plant)	-	2.4 bar
Minimum required pressure rise of free-standing LT cooling water stand-by pump (plant)	3.0 bar	-
Cooling water expansion tank		
+ Pre-pressure due to expansion tank at suction side of cooling water pump	0.6 bar	0.9 bar
+ Pressure loss from expansion tank to suction side of cooling water pump	-	0.1 bar

Table 40: LT cooling water – Plant

	Min.	Max.
LT cooling water temperature charge air cooler inlet (LT stage)	32 °C ¹⁾	38 °C ²⁾
LT cooling water pressure charge air cooler inlet (LT stage); nominal value 4 bar	2 bar	6 bar
Pressure loss charge air cooler (LT stage, for nominal flow rate)	-	0.6 bar
Only for information:		
+ Pressure loss LT piping engine	0.2 bar	0.3 bar
+ Pressure loss charge air cooler (LT stage)	0.1 bar	0.3 bar

¹⁾ Regulated temperature.

²⁾ In accordance with power definition. A reduction in power is required at higher temperatures/lower pressures.

Table 39: LT cooling water – Engine

Figura 15: Sistema de refrigeración LT. Project Guide.

Las bombas independientes de LT deben de ser capaces de aportar una presión de 3 bares como mínimo y dado que la presión nominal a la entrada del enfriador de aire de carga es de 4 bares, se opta por seleccionar este valor para el dimensionamiento de la bomba.

Acudimos a un catálogo comercial para encontrar el modelo adecuado. Las bombas serán de tipo centrífugas accionadas por un motor eléctrico. Seleccionamos el modelo 65/200A de la serie IN de ITUR KSB.

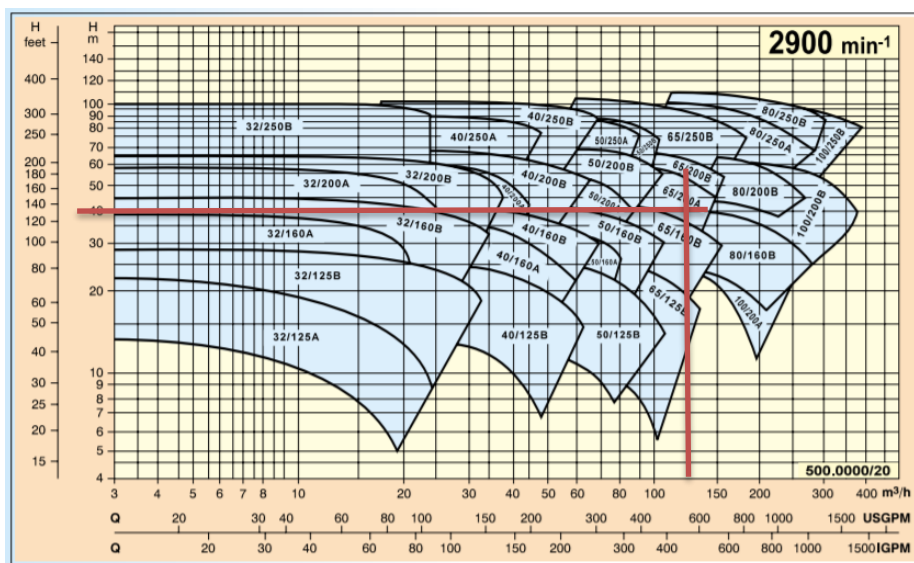


Figura 16: Selección bomba circuito LT. ITUR KSB.

La potencia absorbida por las bombas se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P_{bomba} = \frac{9.81 * Q * \rho * H}{3600 * 10^3 * \eta}$$

Siendo Q el caudal en m³/h, ρ la densidad del líquido en kg/m³, H la presión en m.c.a y η el rendimiento de la bomba que obtenemos de la siguiente tabla:

Tabla 5: Rendimiento bombas centrífugas.

Rendimiento Bombas Centrífugas	
η	Q (m³/h)
0,60	50
0,62	100
0,65	200
0,70	400
0,75	800
0,80	1.000
0,82	3.000

$$P_{bomba} = \frac{9.81 * 132 * 1000 * 40}{3600 * 10^3 * 0.6} = 24 \text{ kW}$$

Para conocer la potencia del motor eléctrico:

$$P_{motor} = \frac{P_{bomba}}{\eta_{motor}} = \frac{24}{0.9} = 26.64 \text{ kW}$$

- Válvula de control de temperatura de aire de sobrealimentación (MOV-003/ Charge air temperatura control valve, CHATCO)

Es una válvula de tres vías impulsada eléctricamente cuyo objetivo es mantener una temperatura mayor del aire de sobrealimentación cuando el motor no está trabajando a plena carga y reducir la acumulación de agua condensada tras el enfriador de aire.

- Enfriador del aceite de lubricación (HE-002/ Lube oil cooler

Parameter	Unit	Value
Type	-	Plate type heat exchanger
Material	-	Stainless steel
Pressure drop (water side)	bar	0.20 – 0.35

Table 100: Technical data of lube oil cooler

Figura 17: Información técnica Enfriador de aceite de lubricación. Project Guide.

El enfriador de aceite de lubricación debe de ser capaz de disipar 297 kW para un motor con 6 cilindros (Table 28: Nominal values for cooler specification).

- Enfriador de aire de sobrealimentación o de carga (HE-008/ Charge air cooler)

De acuerdo con el manual, para un motor de 6 cilindros en L, habrá que disipar 419 kW. Al igual que el enfriador del aceite de lubricación, cada motor estará provisto de uno.

- Alternador (A-001/Alternator)

Como ya se ha mencionado el alternador puede ser refrigerado con agua o no, en caso de que lo fuera habría que tenerlo en cuenta para dimensionar la bomba de servicio de agua de baja temperatura (P-076)

- Enfriador de combustible (HE-007/ Fuel oil cooler)

Disipa el calor de las bombas de inyección de combustible durante la operación de MDO. Para plantas que tienen más de un grupo generador conectados al mismo sistema de combustible, solo hace falta un único enfriador. Por tanto, para cada planta que abastece a dos motores se necesita un único enfriador. Para calcular el calor a disipar del combustible:

$$P_c = P_1 \times br_{ISO1} \times f_1 = 3600 * 178 * 2.68 * 10^{-5} = 17.17 \text{ kW}$$

$$Q_c = 3600 * 178 * 2.80 * 10^{-3} = 1794.24 \text{ l/h}$$

Con dos motores el caudal será el doble, por lo tanto:

$$Q_c = 1794.24 \frac{l}{h} * 2 = 3588.48 l/h$$

Donde los parámetros se especifican en la siguiente tabla:

$P_c = P_1 \times br_{ISO1} \times f_1$		
$Q_c = P_1 \times br_{ISO1} \times f_2$		
Cooler outlet temperature MDO ¹⁾ $T_{out} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$	T_{out}	$^\circ\text{C}$
Dissipated heat of the cooler	P_c	kW
MDO flow for thermal dimensioning of the cooler ²⁾	Q_c	l/h
Engine output power at 100 % MCR	P_1	kW
Specific engine fuel oil consumption (ISO) at 100 % MCR	br_{ISO1}	g/kWh
Factor for heat dissipation: $f_1 = 2.68 \times 10^{-5}$	f_1	-
Factor for MDO flow: $f_2 = 2.80 \times 10^{-3}$	f_2	l/g
Note: In case more than one engine, or different engines are connected to the same fuel oil system, the cooler capacity has to be increased accordingly. ¹⁾ This temperature has to be normally max. 45 °C. Only for very light MGO fuel types this temperature has to be even lower in order to preserve the min. admissible fuel oil viscosity in engine inlet (see section Viscosity-temperature diagram (VT diagram), Page 135). ²⁾ The max. MDO/MGO throughput is identical to the delivery quantity of the installed diesel fuel oil supply pump P-008.		

Table 115: Calculation of cooler design

Figura 18: Cálculo del enfriador de combustible. Project Guide.

P_1 es la potencia entregada por uno de los dos motores que conforman cada uno de los dos sistemas de refrigeración.

- Enfriador de las boquillas de inyección (HE-005/ Nozzel cooling wáter cooler)

Capaz de disipar 14 kW. Como opción, se puede instalar un módulo compacto de agua de refrigeración de boquilla (MOD-005). En los motores diésel diseñados para funcionar exclusivamente con MGO o MDO como es el caso del buque proyecto (no es posible el funcionamiento con HFO), no se requiere enfriamiento de la boquilla por lo que se omite este sistema.

- Tanque de expansión (T-075/ Expansion tank)

Service tanks	Installation height ¹⁾	Minimum effective capacity									
	m	m ³									
No. of cylinders		6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Cooling water expansion tank	6 – 9	0.5					0.7				
Required diameter for expansion pipeline	-	≥ DN50 ²⁾									

Figura 19: Tanque de expansión. Project Guide.

El tanque debe de tener al menos una capacidad para 1 m³ de agua de refrigeración y debe situarse al menos 6 metros sobre la altura del cigüeñal. La finalidad de este tanque es compensar cambios en el volumen del sistema y asegurar la presión en todo el circuito.

El tanque debe tener el siguiente equipo:

- Mirilla para monitoreo de nivel u otro dispositivo adecuado para monitoreo de nivel
- Interruptor de alarma de bajo nivel.

- Desbordamiento y conexión de llenado
- Entrada para inhibidor de corrosión.
- Tubería de ventilación

Para evitar la oxidación del agua de enfriamiento causada por "salpicaduras", la tubería de ventilación debe estar conectada al tanque por debajo del nivel mínimo de agua.

- Válvula de control de temperatura de agua de enfriamiento (MOV-016/LT cooling water temperature control valve)

Consiste en una válvula reguladora de tres vías accionada por el motor y que funciona como una válvula mezcladora manteniendo el agua del circuito LT a la temperatura de 32°C.

- Enfriador principal (HE-024/Cooler for LT cooling water)

Este enfriador debe de ser capaz de disipar el calor total del circuito, tanto de LT como el de HT. El enfriador de LT es común para los dos motores. El calor que es necesario disipar debido a cada uno de los motores es:

Tabla 6: Cálculo enfriador principal.

Focos de calor	Φ (kW)
Enfriador de aire (etapa LT)	419
Enfriador de aire (etapa HT)	995
Enfriador de aceite de lubricación	297
Enfriador de MDO	17,17
Calor por radiación del motor	111
Enfriador de las camisas de los cilindros	469
TOTAL	2308.17
	kW kW

Por tanto, serán necesarios dos enfriadores con una capacidad de disipar 2308.17 kW cada uno o uno que sea capaz de disipar 4616.34 kW.

- Bombas de agua salada (P-062/ Sea water pumps)

Las bombas de agua salada son las encargadas de suministrar agua salada del mar como líquido refrigerante al enfriador principal. El caudal de agua salada a bombear será función del calor que es necesario extraer del circuito de agua de refrigeración.

$$Q = \frac{\Phi(\text{kW}) * 3600}{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * c_e \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right) * \Delta T(\text{K})}$$

Se considerará que el agua salada incrementa su temperatura en 10 °C desde que entra por las tomas de mar hasta que es expulsada de nuevo. Teniendo en cuenta una densidad de 1026 kg/m³ y un calor específico de 3,85 kJ/kgK:

$$Q = \frac{2308.17 * 3600}{1026 * 3.85 * 10} = 210 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tomando una presión de descarga de 3 bar, se seleccionarán dos bombas del modelo 80/160B de la serie IN de ITUR KS cada una capaz de impulsar 210 m³/h

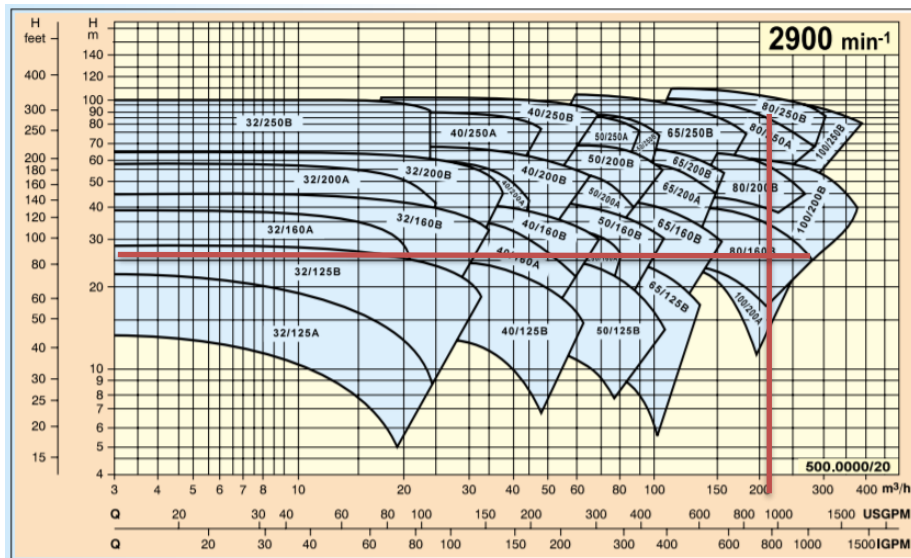


Figura 20: Selección bomba de agua salada. ITUR KSB.

La potencia absorbida por cada bombas es:

$$P_{bomba} = \frac{9.81 * Q * \rho * H}{3600 * 10^3 * \eta} = \frac{9.81 * 210 * 1025 * 30}{3600 * 10^3 * 0.65} = 27.01 \text{ kW}$$

Para conocer la potencia del motor eléctrico:

$$P_{motor} = \frac{P_{bomba}}{\eta_{motor}} = \frac{27.01}{0.9} = 30.1 \text{ kW}$$

- Sistema de agua de refrigeración de HT
- Bombas de agua dulce del circuito de alta temperatura (P-002/HT cooling water service pump, attached)

Cada motor debe de tener su bomba de agua HT que serán arrastradas por el motor y de tipo centrífugas.

La guía establece en “Table 28: Nominal values for cooler specification” un caudal necesario de las bombas de servicio para el agua de refrigeración a alta temperatura de 42 m³/h

	Min.	Max.
HT cooling water pressure engine inlet; nominal value 4 bar ⁴⁾	3 bar	6 bar
Pressure loss engine (total, for nominal flow rate)	-	1.35 bar
Only for information:		
+ Pressure loss engine (without charge air cooler)	0.3 bar	0.5 bar
+ Pressure loss HT piping engine	0.2 bar	0.45 bar
+ Pressure loss charge air cooler (HT stage)	0.2 bar	0.4 bar
Pressure rise attached HT cooling water pump (optional)	3.2 bar	3.8 bar

¹⁾ SaCoS_{one} measuring point is jacket cooling outlet of the engine.

²⁾ Regulated temperature.

³⁾ Operation at alarm level.

⁴⁾ SaCoS_{one} measuring point is jacket cooling inlet.

Table 37: HT cooling water – Engine

Figura 21: Agua del circuito HT. Project Guide.

La bomba deberá tener un capacidad de elevación de la presión entre 3.2 y 3.8 bares.

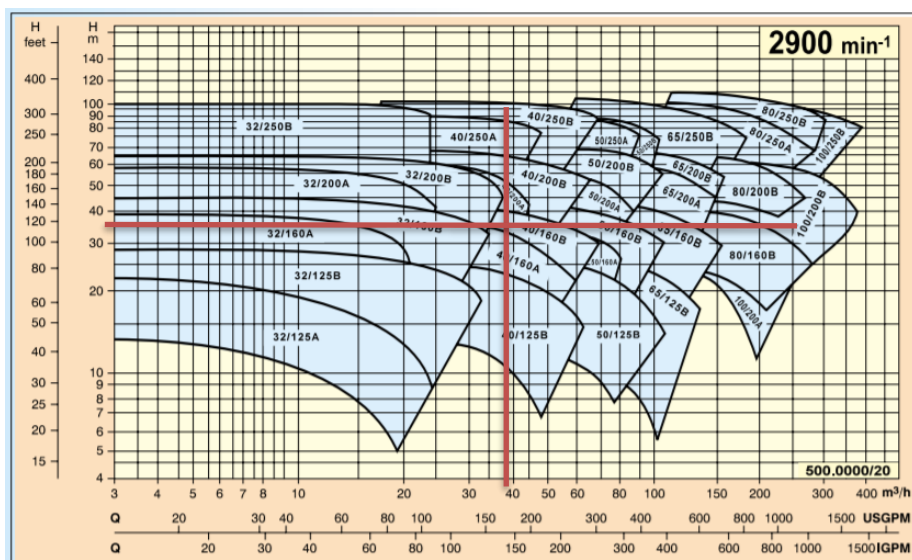


Figura 22: Selección bomba circuito HT. ITUR KSB

La bomba seleccionada el modelo 40/160B de la serie IN de ITUR KSB y cada bomba será impulsadas por el cigüeñal del motor correspondiente a través de una transmisión resistente de engranajes.

$$P_{bomba} = \frac{9.81 * Q * \rho * H}{3600 * 10^3 * \eta} = \frac{9.81 * 42 * 1000 * 38}{3600 * 10^3 * 0.6} = 7.25 \text{ kW}$$

Las bombas deberán ir precedidas por un filtro de agua salada FIL-019 aguas abajo.

- Enfriador de aire de sobrealimentación o de carga (HE-010/ Charge air cooler)

De acuerdo con el manual, para un motor de 6 cilindros en L, habrá que disipar 995 kW.

- Enfriador de la camisa del cilindro (D-001/ Cylinder and valve head cooling)

Debe disipar 469 kW.

- Válvula de control de temperatura del circuito HT (TCV-007/HT cooling water temperature control valve)

Su función es mantener la temperatura del agua de refrigeración de los cilindros a un valor constante de 90°C a la salida del motor. Se usa por defecto una válvula termostática de cera con una temperatura nominal de 85°C.

Parameter	Unit	Value
Type	-	3-way, thermostatic wax elements
Nominal temperature	°C	85
Working range	°C	82 – 91
Pressure drop	bar	0.15 – 0.20

Table 101: Technical data of HT temperature control valve

Figura 23: Válvula de control de temperatura del circuito HT. Project Guide.

- Precalentador (HE-027/ Preheater)

Para garantizar una correcta combustión y evitar la corrosión en frío es necesario que el motor debe precalentarse en modo espera (en caso de que se empleara HFO también debería de precalentarse antes de arrancar). Existen varias opciones de instalación del precalentador, pero se opta por precalentadores externos instalados para cada uno de los grupos generadores.

El flujo de agua de enfriamiento LT debe cerrarse para poder precalentar el motor de manera efectiva. Por lo general, esto se realiza mediante válvulas accionadas automáticamente. Se utilizarán válvulas de accionamiento eléctrico o neumático

El precalentador está diseñado para precalentar el motor a 60°C y para evitar un calentamiento demasiado rápido y desigual, la temperatura de precalentamiento del agua de enfriamiento HT en la entrada del motor debe ser menor de 90°C y la cantidad de circulación no puede exceder el 30% del flujo nominal. Todo esto ha de tenerse en cuenta para calcular la potencia máxima del precalentador.

Para precalentar el agua de enfriamiento HT de 10 ° C a 60 ° C en 8 horas, la capacidad del precalentador externo debe ser de 2.5 a 3.0 kW por cilindro. Estos valores incluyen las pérdidas de calor por radiación de la superficie exterior del motor. También se ha alcanzado un margen del 20% para las pérdidas de calor del sistema de enfriamiento considerado. Es decir, una capacidad total del precalentador de 18 kW. El caudal mínimo necesario en el calentador durante el precalentado se muestra en la siguiente tabla:

No. of cylinders, config.		6L	8L	9L	10L
Minimum flow rate required during preheating and postcooling	m³/h	7.2	9.6	10.8	12.0

Table 103: Minimum flow rate during preheating and postcooling

Figura 24: Flujo del precalentador. Project Guide.

MAN Energy Solutions da la opción de un módulo compacto de precalentamiento de agua de enfriamiento HT (MOD-004), este módulo incluye:

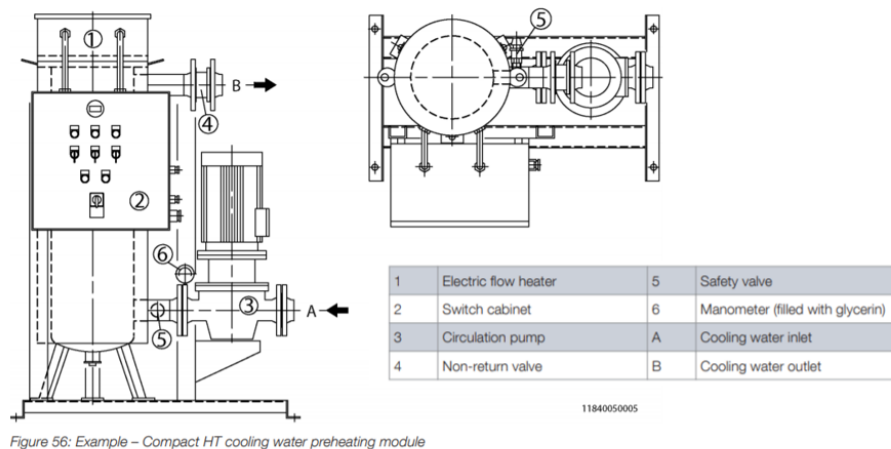


Figure 56: Example – Compact HT cooling water preheating module

Figura 25: Módulo de precalentamiento de agua. Project Guide.

-Bombas del precalentador (P-047/HT preheating pump)

Se necesita una bomba accionada eléctricamente para hacer circular el agua de enfriamiento HT durante el precalentamiento. El caudal de la bomba de precalentamiento adjunta es 12m³/h y consideraremos una presión de 3 bares.

La bomba seleccionada el modelo 32/160A de la serie IN de ITUR KSB y cada bomba será accionada eléctricamente.

$$P_{bomba} = \frac{9.81 * Q * \rho * H}{3600 * 10^3 * \eta} = \frac{9.81 * 12 * 1000 * 30}{3600 * 10^3 * 0.6} = 1.6 \text{ kW}$$

$$P_{motor} = \frac{P_{bomba}}{\eta_{motor}} = \frac{1.6}{0.9} = 1.8 \text{ kW}$$

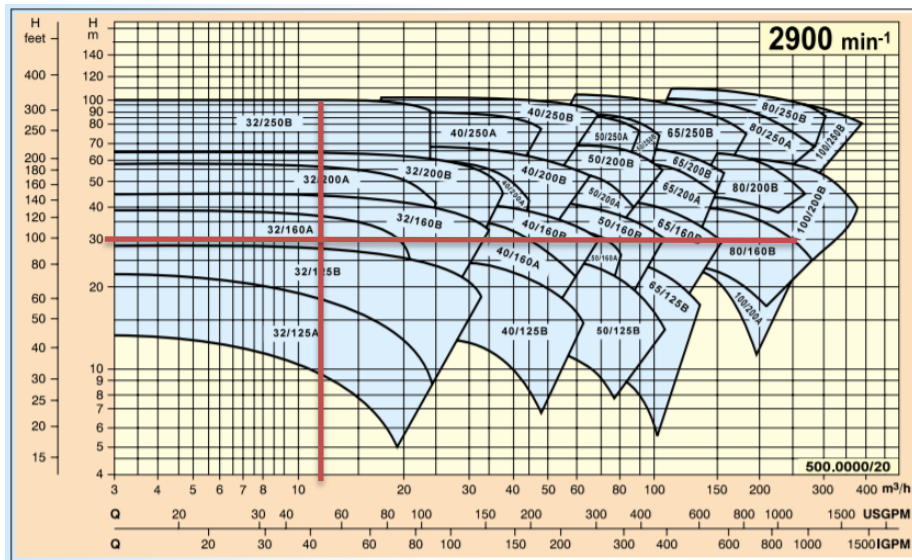
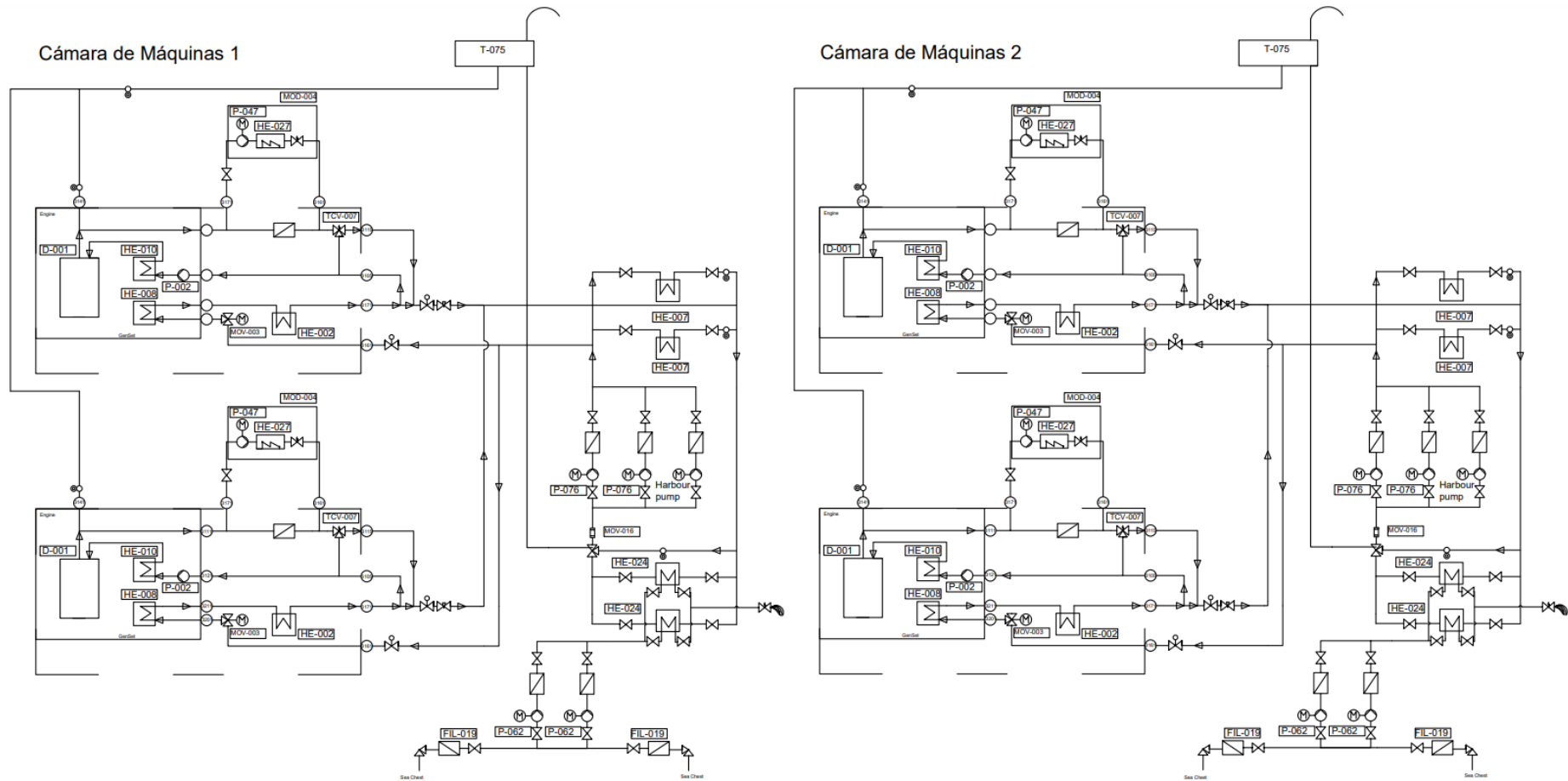


Figura 26: Selección bomba del precalentador. ITUR KSB.

A continuación, se muestra el diagrama del sistema de refrigeración:



Componentes del motor			
HE-008	LT charge air cooler (stage II)	D-001	Diesel engine
HE-010	HT charge air cooler (stage I)	P-002	HT cooling water service pump, attached
Componentes del grupo generador			
HE-002	Lube oil cooler	MOV-003	Charge air temperature control valve (CHATCO)
H-027	Preheater	P-047	Preheating cooling water pump
TCV-007	HT cooling water control valve	MOD-004	HT cooling water preheating module
Componentes de la cámara de máquinas			
HE-027	Fuel oil cooler	P-047	HT cooling water preheating pump, internal
HE-024	LT cooler	P-076	LT cooling water service pump set, free-standing
HE-027	HT cooling water preheater, external	T-075	LT cooling water expansion tank
MOV-016	LT cooling water temperature control valve		
Conexiones de tubería del motor			
3111	HT cooling water outlet	3201	LT cooling water inlet
3121	HT cooling water inlet	3211	LT cooling water outlet
3141	Vent	3151	Cooling water discharge
Conexiones de tubería del grupo generador			
3105	HT cooling water inlet	3271	LT cooling water outlet
3115	HT cooling water outlet	3161	From preheater
3261	LT cooling water inlet	3171	To preheater

Figura 27: Diagrama sistema de refrigeración

6.2 Sistema de combustible

El sistema de combustible debe estar diseñado y construido para suministrar combustible al motor diésel, cumpliendo todos los requisitos estipulados por el fabricante. Para lograr este propósito, se necesitan equipos de planta para el almacenamiento, transferencia, purificación, calefacción y refrigeración, así como instalaciones de medición y monitoreo y sistemas de tuberías y control.

Aunque MAN contempla esta posibilidad, en este proyecto se descarta el uso de Heavy Fuel Oil (HFO), que, aun teniendo un coste menor y un poder calorífico superior, requiere un tratamiento especial por sus propiedades físicas y además implica unos niveles de emisiones que entran en conflicto con la filosofía general del buque.

En la tabla siguiente se especifican los criterios que tiene que cumplir el MDO empleado en los motores principales:

Properties	Unit	Test procedure	Designation
ISO-F specification	–	–	DMB
Density at 15 °C	kg/m ³	ISO 3675	< 900
Kinematic viscosity at 40 °C	mm ² /s ± cSt	ISO 3104	> 2.0 < 11 ¹⁾
Pour point, winter grade	°C	ISO 3016	< 0
Pour point, summer grade	°C	ISO 3016	< 6
Flash point (Pensky Martens)	°C	ISO 2719	> 60
Total sediment content	weight %	ISO CD 10307	0.10
Water content	Vol. %	ISO 3733	< 0.3
Sulphur content	weight %	ISO 8754	< 2.0
Ash content	weight %	ISO 6245	< 0.01
Coke residue (MCR)	weight %	ISO CD 10370	< 0.30
Cetane index and cetane number	-	ISO 4264 ISO 5165	> 35
Hydrogen sulphide	mg/kg	IP 570	< 2
Acid number	mg KOH/g	ASTM D664	< 0.5
Oxidation stability	g/m ³	ISO 12205	< 25
Lubricity (wear scar diameter)	µm	ISO 12156-1	< 520
Other specifications:			
ASTM D 975	–	–	2D
ASTM D 396	–	–	No. 2

Table 76: Properties of Marine Diesel Oil (MDO) to be maintained

Figura 28: Propiedades de MDO. Project Guide.

Se dispondrán dos sistemas de combustible independientes uno para cada cámara de máquinas y cada uno abastecerá a dos motores.

6.2.1 Sistema de tratamiento del MDO

El servicio de combustible debe proporcionar el caudal necesario de fuel a la presión y viscosidad adecuadas y con un grado de limpieza suficiente para no perjudicar los componentes del motor. Al no emplear HFO, el sistema es más sencillo y no requiere de equipos para calentar y trasegar este producto. Los elementos que conforman este sistema son:

- Tanque de almacenamiento de diésel (T-015/Diesel fuel oil storage tank)

La capacidad mínima efectiva del tanque debe ser suficiente para la operación de la planta de propulsión durante la duración máxima del viaje. El tanque de almacenamiento de combustible diesel debe estar provisto de un espacio de lodo con una inclinación del fondo del tanque de preferiblemente 10 ° y válvulas de drenaje de lodo en el punto más bajo para drenar el lodo sedimentado a intervalos regulares. El volumen total del tanque de almacenamiento es de 1032.62 que permite una autonomía de 6051 millas que como vemos cumple con las 6000 millas de autonomía establecidas en la RPA.

El calentador del tanque debe estar diseñado de manera que la temperatura del MDO sea al menos 10 ° C como mínimo por encima del punto de fluidez.

- Tanque de lodos (T-021/Sludge tank)

Si no se planifica la eliminación en una planta incineradora, el tanque debe dimensionarse de modo que sea capaz de absorber todos los residuos que se acumulan durante la operación en el transcurso de una duración máxima del viaje. Para permitir el vaciado del tanque, debe calentarse. El calentamiento se debe dimensionar de modo que el contenido del tanque se pueda calentar a aproximadamente 40 ° C.

Como se ha visto en el cuaderno 4, se dimensiona el tanque de lodos según las especificaciones del SOLAS y obtenemos un volumen de 20m³.

- trasego de combustible diésel (CF-003/Diesel fuel oil separator)

Se debe proporcionar un separador autolimpiante. El caudal requerido (Q) puede determinarse aproximadamente mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{P * b_e}{\rho} = 7200 * \frac{179.72}{870} = 1487.340 \frac{l}{h} = 1.487 m^3/h$$

Donde,

Q [l/h]	Separator flow rate
P [kW]	Total engine output
b _e [g/kWh]	Fuel oil consumption
ρ [g/l]	Density at separating temp approximately 870 kg/m³ = g/dm³

El separador elegido será el modelo MMB 304 del fabricante ALFA LAVAL que es de tipo centrífugo y consume 1.4 kW:

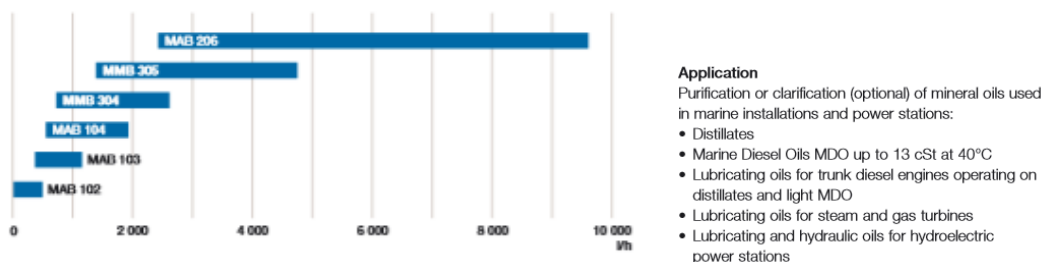


Figura 29: Características separador combustible. ALFA LAVAL:

- Bomba del separador de combustible diésel (P-073/Diesel fuel oil separator feed pump)

Las bombas de suministro siempre deben ser accionadas eléctricamente, ya que el volumen de entrega puede adaptarse mejor al rendimiento requerido. Su capacidad debe ser suficiente para proporcionar el caudal necesario al separador:

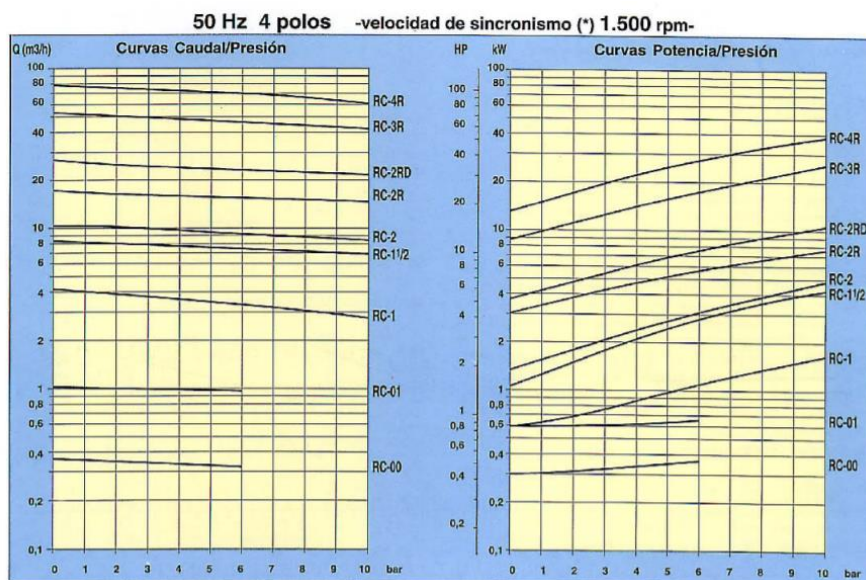


Figura 30: Bomba del separador. ITUR KSB.

La bomba seleccionada el modelo RC-1 de la serie RC de ITUR KSB con una caudal de 3m³/h y 8 bares y cada bomba será accionada eléctricamente. El catálogo de las bombas ya nos proporciona que la potencia absorbida por la bomba es de 1.5kW y por tanto la potencia del motor eléctrico será:

$$P = \frac{1.5}{0.9} = 1.67 \text{ kW}$$

- Precalentador de fuel oil (H-019/Fuel oil preheater)

Para alcanzar la temperatura de separación, se debe instalar un precalentador adaptado a la viscosidad del combustible. El precalentador de combustible debe poder calentar el aceite diésel hasta 40 ° C y el tamaño debe seleccionarse en consecuencia:

$$\Phi = \frac{Q \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_s - T_e)}{3600} = \frac{1.487 * 877 * 1.75 * (40 - 10)}{3600} = 19 \text{ kW}$$

Donde,

Φ es la potencia en KW

Q es el caudal de MDO a calentar, en este caso 1.487 m³ /h procedentes de la bomba de suministro.

Ce es el calor específico del HFO. Se ha seleccionado el valor de 1,75 KJ/Kg K.

ρ es la densidad a la temperatura de separación (el manual propone 877 kg/m³)

Ts es la temperatura de separación, 40 °C

Te es la temperatura de entrada al precalentador, consideraremos una temperatura de 10°C

- Tanque de servicio de combustible diésel (T-003/Diesel fuel oil service tank)

Lo veremos más adelante en el sistema de suministro.

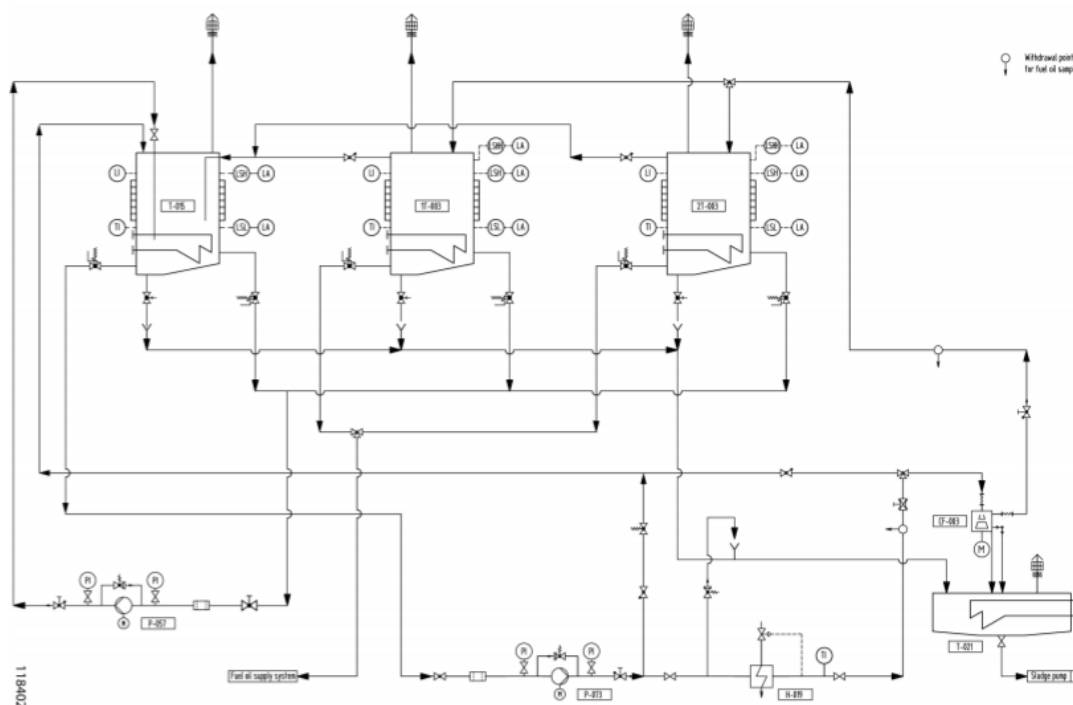
- Bomba de trasiego (P-057/ Diesel Fuel Oil Transfer Pump)

Las bombas de trasiego de MDO deberán ser capaces de llenar el tanque de uso diario en 2 h, con lo cual se puede determinar la capacidad mínima que deben entregar:

$$Q_{\text{trasiego}} = \frac{V_{\text{tanque}}}{2 \text{ horas}} = \frac{82.32}{2} = 41.16 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se tomarán las bombas RC-3R de la serie RC de ITUR KSB que consumen una potencia de 18 kW para una capacidad de elevación de 7 bares.

A continuación, se muestra el diagrama del sistema de tratamiento del combustible:



Components			
CF-003	Diesel fuel oil separator	T-015	Diesel fuel oil storage tank
H-019	Fuel oil preheater	T-021	Sludge tank
P-057	Diesel fuel oil transfer pump	1,2 T-003	Diesel fuel oil service tank
P-073	Diesel fuel oil separator feed pump		

Figura 31: Diagrama sistema de tratamiento de ocombustible. Project Guide.

6.2.2 Sistema de suministro de combustible

El sistema de suministro MDO es un sistema abierto con tanque de servicio de desaireación abierto. Por lo general, uno o dos motores principales están conectados a un sistema de combustible. En este caso habrá dos sistemas independientes y cada uno de ellos suministrarán combustible a dos motores. El diagrama del sistema se puede encontrar en la Figura 37 con la nomenclatura señalada en el texto.

Como se puede apreciar en la tabla “Table 76: Properties of Marine Diesel Oil (MDO) to be maintained” en la entrada del motor, la viscosidad del combustible MDO debe ser entre 2.0 y 11 cSt y por tanto la temperatura del combustible tendrá que adaptarse en consecuencia, siendo siempre inferior a 45°C. Por lo tanto, se requiere un tanque de calentamiento y un enfriador en la tubería de retorno de combustible.

- Tanque de servicio de combustible diésel (T-003/Diesel fuel oil service tank)

Las sociedades de clasificación estipulan que estos tanques deben contener un volumen total suficiente para almacenar el combustible necesario para la operación del buque a plena carga durante 8 horas y que debe haber al menos dos tanques. Uno de ellos suministra MDO purificado a los motores, mientras que el otro recibe el MDO purificado y permite que las partículas restantes se depositen en el fondo del tanque. En el cuaderno 4, estos tanques se dimensionaron para 24 horas por lo que cumple el requisito establecido por la SS.CC.

El tanque de servicio debe estar provisto de un espacio de lodo con una inclinación del fondo del tanque de preferiblemente 10 ° y válvulas de drenaje de lodo en el punto más bajo para drenar el lodo sedimentado a intervalos regulares. Se deben instalar tuberías de rebose desde el tanque de servicio de combustible diesel T-003 al tanque de almacenamiento de

combustible diesel T-015, con tuberías calefactadas y aislamiento. Si se usa combustible DMB con 11 cSt (a 40 ° C), el calentamiento del tanque debe diseñarse para mantener la temperatura del tanque en un mínimo de 40 ° C.

La capacidad mínima requerida de MDO de cada tanque de servicio es:

$$V_{MDOST} = \frac{Q_p * t_o * M_S}{3 * 1000} = \left(\frac{(14400 * 179.72 * 3.75 * 10^{-3}) * 8 * 1.05}{3 * 1000} \right) = \frac{4852.44 * 8 * 1.05}{3 * 1000} = 27.17 \text{ m}^3$$

Donde,

$V_{MDOST} = (Q_p \times t_o \times M_S) / (3 \times 1000 \text{ l/m}^3)$		
Required min. volume of one diesel fuel oil service tank	V_{MDOST}	m ³
Required supply pump capacity, MDO 45 °C See paragraph P-008/Diesel fuel oil supply pump, Page 223 and P-018/Fuel oil supply pump, Page 214 .	Q_p	l/h
Operating time $t_o = 8 \text{ h}$	t_o	h
Margin for sludge $M_S = 1.05$	M_S	-

Table 107: Required minimum MDO capacity

$Q_p = P_1 \times br_{ISO1} \times f_3$		
Required supply pump capacity with MDO 45 °C	Q_p	l/h
Engine output power at 100 % MCR	P_1	kW
Specific engine fuel oil consumption (ISO) at 100 % MCR	br_{ISO1}	g/kWh
Factor for pump dimensioning: $f_3 = 3.75 \times 10^{-3}$	f_3	l/g

Table 118: Formula to design the diesel fuel oil supply pump

Figura 32: Cálculo de la bomba de suministro de combustible. Project Guide.

Como se ha visto anteriormente, cada uno de los tanques de servicios tiene una capacidad de 41.16 m³ por lo que cumple ampliamente el volumen mínimo requerido.

Para permitir un flujo de limpieza continuo independiente del consumo de combustible, el tanque de servicio de combustible diésel debe estar equipado con una tubería de rebose. Se instalará desde la parte superior del tanque de uso diario hasta la parte superior del tanque almacén. De esta manera, las partículas pesadas y el agua que se acumula en la parte inferior del tanque de servicio recircularán en el tanque de sedimentación.

- Filtro de aspiración (STR-010/Suction strainer)

Su objetivo es proteger las bombas de suministro de combustible. Para ello se emplea un filtro de malla de paso de esfera que irá ubicado en el lado de succión de cada bomba.

- Bomba de suministro de combustible diésel (P-008/ Diesel fuel oil supply pump)

Como se ha visto el caudal mínimo requerido de la bomba de suministro de diésel es de 9704.88l/h, es decir, 9.705 m³/h para abastecer a los cuatro motores, pero como se dispondrán dos cámaras de máquinas separadas, se dispondrán dos bombas por cámara con la mitad de la capacidad cada una, es decir 4.85 m³/h para tener una de reserva por cámara. La presión de descarga se seleccionará con referencia a las pérdidas del sistema y de la presión requerida a la entrada del motor que normalmente es de 10 bar.

	Min.	Max.
Fuel temperature engine inlet – MGO (DMA, DMZ) and MDO (DMB) according ISO 8217:2017 – HFO according ISO 8217:2017	–10 °C ¹⁾ –	45 °C ²⁾ 150 °C ³⁾
Fuel viscosity engine inlet – MGO (DMA, DMZ) and MDO (DMB) according ISO 8217:2017 – HFO according ISO 8217:2017, recommended viscosity	1.9 cSt 12.0 cSt	14.0 cSt 14.0 cSt
Fuel pressure engine inlet	5.0 bar	8.0 bar
Fuel pressure engine inlet in case of black out (only engine start idling)	0.6 bar	–
Differential pressure (engine inlet/engine outlet)	1.0 bar	–
Fuel return, fuel pressure engine outlet	2.0 bar	–
Maximum pressure variation at engine inlet	–	±0.5 bar
HFO supply system + Minimum required pressure rise of free-standing HFO supply pump (plant) + Minimum required pressure rise of free-standing HFO circulating pump (booster pumps, plant) + Minimum required absolute design pressure free-standing HFO circulating pump (booster pumps, plant)	7.0 bar 7.0 bar 10.0 bar	– – –
MDO/MGO supply system + Minimum required pressure rise of free-standing MDO/MGO supply pump (plant)	10.0 bar	–
Fuel temperature within HFO day tank (preheating)	75 °C	90 °C ³⁾

¹⁾ Maximum viscosity not to be exceeded. "Pour point" and "Cold filter plugging point" have to be observed.
²⁾ Not permissible to fall below minimum viscosity.
³⁾ If flash point is below 100 °C, than the limit is: 10 degrees distance to the flash point.

Table 43: Fuel

Figura 33: Combustible. Project Guide.

La bomba seleccionada el modelo RC-1 1/2 de la serie RC de ITUR KSB y cada bomba será accionada eléctricamente.

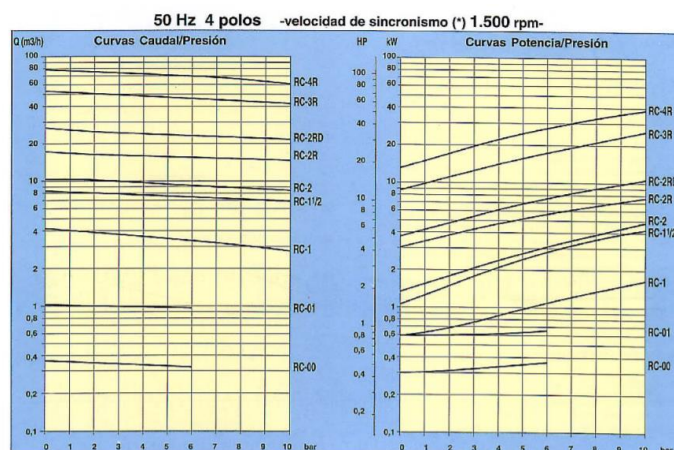


Figura 34: Selección bomba suministro de combustible. ITUR KSB.

El catálogo de las bombas ya nos proporciona que la potencia absorbida por la bomba es de 4kW y por tanto la potencia del motor eléctrico será:

$$P = \frac{4}{0.9} = 4.4 \text{ kW}$$

- Filtro automático de combustible, circuito de alimentación (FIL-003/Fuel oil automatic filter, supply circuit)

El filtro no debe causar una caída de presión significativa y debe estar equipado con indicadores de presión diferencial e interruptores.

Parameter	Unit	Value
Filter mesh size (sphere passing mesh)	µm	34
Design pressure	bar	10
Design temperature	°C	≥ 100

Table 110: Design data

Figura 35: Características filtro de combustible, circuito de alimentación. Project Guide.

Debe existir un by-pass en paralelo que será abierto cuando el filtro esté en mantenimiento.

- Válvula de equilibrio de flujo (FBV-010/Flow balancing valve)

La válvula de equilibrio de flujo se requiere en la salida de combustible de cada motor. Se utiliza para ajustar el flujo de combustible individual para cada motor.

- Válvula de derrame de combustible (PCV-011/Fuel oil spill valve)

En caso de que dos motores funcionen con un módulo de combustible, tiene que ser posible separar un motor a la vez del circuito de combustible para fines de mantenimiento. Para evitar un aumento de presión en el sistema presurizado, el combustible, que no puede circular a través del motor apagado, debe ser redirigido a través de esta válvula que funciona como válvula de alivio de presión al tubo de retorno.

- Llave de cierre (V-002/Shut-off cock)

La llave de cierre se encuentra en estado cerrado durante el funcionamiento normal (funcionamiento multimotor). Cuando un motor se separa del circuito de combustible para fines de mantenimiento, esta llave debe abrirse manualmente.

- Enfriador de combustible (HE-007/Fuel oil cooler)

Se requiere el enfriador de aceite combustible para enfriar el combustible, que se calentó mientras circulaba por las bombas de inyección. El enfriador normalmente está conectado al sistema de agua de enfriamiento LT y debe dimensionarse de manera que el MDO no supere una temperatura máxima 45 ° C.

El cálculo del enfriador ya se realizó en el apartado de segua de refrigeración y se obtuvo que para un motor el calor a disipar debe de ser igual a:

$$P_c = P_1 \times br_{ISO1} \times f_1 = 3600 \times 178 \times 2.68 \times 10^{-5} = 17.17 \text{ kW}$$

$$Q_c = 3600 \times 178 \times 2.80 \times 10^{-3} = 1794.24 \text{ l/h}$$

Por tanto, como el sistema tiene dos motores será el doble de calor, es decir, 34.34 kW y 3588.48 l/h.

- Válvula de retención de presión (PCV-008/Pressure retaining valve)

Esta válvula es requerida para mantener la presión del sistema a un cierto valor contra el tanque de servicio de combustible diésel

- Tanque colector de fugas (T-006/Leakage oil collecting tank)

El aceite de fuga de los tubos de inyección, el aceite de lubricación de fuga y el aceite de suciedad de los filtros (que se descargarán por gravedad) se recogen en el tanque de recogida de aceite de fuga (T-006). El contenido de este tanque debe descargarse en el tanque de lodo (T-021).

- Tanque de fugas limpias de combustible (T-071/Clean leakage fuel oil tank)

El aceite combustible con fugas limpias que escapa del sistema de aceite combustible de los motores se puede conducir a un tanque recolector de aceite combustible con fugas limpias adicionales. Desde allí se puede vaciar en el tanque de almacenamiento de combustible diésel. El aceite combustible con fugas limpias del T-071 se puede usar nuevamente después de pasar el separador.

La cantidad de aceite de fuga limpio depende del tipo de bomba de alta presión, su tasa de desgaste, el tipo de combustible y las temperaturas de funcionamiento. En caso de explosión de una tubería, se producirá un alto flujo de fuga de combustible por un corto tiempo (<1 min.). El motor se apagará inmediatamente después de una alarma de explosión de tubería. El manual especifica un volumen de fugas limpias entre 0,6 y 1,6 l/h*cyl.

- Tanque de almacenamiento de diésel (T-015/Diesel fuel oil storage tank), tanque de lodos (T-021/Sludge tank) y separador de combustible diésel (CF-003/Diesel fuel oil separator)

Ya se han visto previamente en el apartado del sistema de tratamiento.

- Medidor del flujo de combustible (FQ-003/Fuel oil flowmeter)

En caso de que se requiera una medición del consumo de combustible, se debe instalar un medidor de flujo de combustible aguas abajo del filtro automático de combustible (circuito de suministro) FIL-003. Se debe proporcionar una línea de derivación en caso de falla o mantenimiento del medidor de flujo.

-Filtro de combustible (FIL-013/Fuel oil duplex filter)

Este filtro permite mantener el motor en funcionamiento aun cuando un elemento del filtro se obstruye

Parameter	Unit	Value
Filter mesh size (sphere passing mesh)	µm	25
Design pressure	bar	16
Design temperature	°C	≥ 150

Table 105: Design data

Figura 36: Características filtro de combustible. Project Guide.

- Tanque de monitoreo de fugas de combustible (FSH-001/Leakage fuel oil monitoring tank)

El tanque de monitoreo recoge todas las fugas producidas por desbordamientos de la bomba de alta presión, fugas de inyectores de combustible, escape de combustible de las tuberías de control de explosión... Para calentar la fuga, el combustible suministrado al motor pasa a través del tanque. El tanque está equipado con un interruptor de nivel, que activa una alarma en caso de un flujo de fuga mayor de lo normal. Todas las partes del sistema de fuga monitoreado (tuberías y tanque de monitoreo) deben diseñarse para una tasa de combustible de 6.7 l / min x cil. (40.2 l/min).

A continuación, se muestra el diagrama del sistema de combustible:

Components			
CF-003	Diesel fuel oil separator	PCV-008	Pressure retaining valve
1,2 D-001	Diesel engine	PCV-011	Fuel oil spill valve
1,2 FBV-010	Flow balancing valve	1,2 STR-010	Suction strainer
FIL-003	Fuel oil automatic filter, supply circuit	1,2 T-003	Diesel fuel oil service tank
1,2 FIL-013	Fuel oil duplex filter	T-006	Leakage oil collecting tank
1,2 FSH-001	Leakage fuel oil monitoring tank	T-015	Diesel fuel oil storage tank
HE-007	Fuel oil cooler	T-021	Sludge tank
MOD-015	Fuel oil supply pump	T-071	Clean leakage fuel oil tank
1,2 P-008	Diesel fuel oil supply pump	V-002	Shut-off cock
Major engine connections			
5101	Fuel oil inlet to engine	5152	Drain of fuel filter oil pan
5111	Fuel oil outlet from engine	9141	Dirty oil drain from pump bank, counter coupling side 1
5143	Fuel oil leakage drain (reusable from pumps and injector) 1	9143	Dirty oil drain from pump bank, coupling side 1

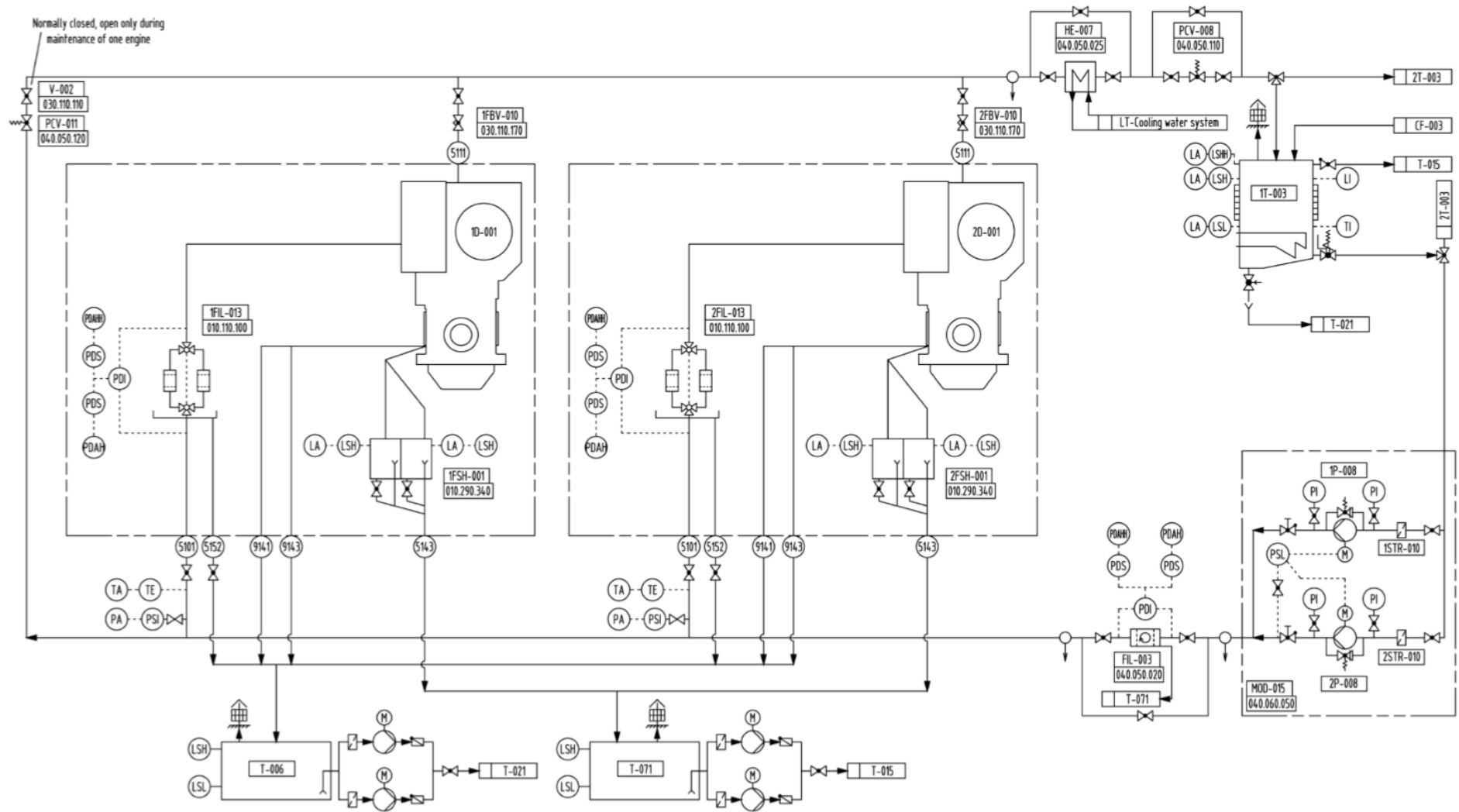


Figura 37: Diagrama sistema de combustible.

6.3 Sistema de lubricación

La lubricación interna del motor y se proporciona con un sistema de lubricación de alimentación forzada. Cada motor está provisto de un sistema de aceite lubricante.

La bomba de servicio de aceite lubricante extrae aceite del sumidero de aceite y lo bombea a través del enfriador de aceite lubricante y el filtro automático a la tubería principal de aceite. A partir de ahí, se distribuye a los puntos de lubricación del motor y el turbocompresor y regresa por gravedad al sumidero de aceite dentro del tanque de servicio de aceite lubricante. Los sistemas de tratamiento, que limpian el aceite lubricante continuamente en una corriente de derivación, se instalan en el GenSet y en la planta. Cada motor contará con su sistema de lubricación y el diagrama se puede encontrar en la Figura 48.

En la siguiente tabla se muestra el consumo total de aceite lubricante:

Total lube oil consumption [kg/h] ¹⁾				
No. of cylinders, config.	6L	8L	9L	10L
Speed 720/750 rpm	1.8	2.4	2.7	3.0
¹⁾ The value/values stated above is/are without any losses due to cleaning of filter and centrifuge or lube oil charge replacement.				
Tolerance for warranty +20 %.				

Table 23: Total lube oil consumption

Figura 38: Consumo de aceite lubricante. Project Guide.

- Tanque de servicio de aceite lubricante (T-001/Lube oil service tank)

El objetivo principal es separar el aire y las partículas del aceite lubricante, antes de bombearlo nuevamente al motor. En las siguientes tablas se especifica el volumen de aceite lubricante en cada uno de los motores y el tipo de aceite empleado:

Cooling water and oil volume – Turbocharger at counter coupling side ¹⁾					
No. of cylinders		6	8	9	10
HT cooling water ²⁾ approximately	litre	234	303	337	371
LT cooling water ³⁾ approximately		71	76	78	78
Lube oil within base frame of GenSet		3,500	4,670	5,250	5,830
¹⁾ Be aware: This is just the amount inside the engine. By this amount the level in the service or expansion tank will be lowered when media systems are put in operation.					
²⁾ HT water volume engine: HT part of charge air cooler, cylinder unit, piping.					
³⁾ LT water volume engine: LT part of charge air cooler, piping.					

Table 50: Cooling water and oil volume of engine

Main fuel	Lube oil type	Viscosity class	Base No. (BN)	
MGO (class DMA or DMZ)	Doped (HD) + additives	SAE 40	10 – 16 mg KOH/g	Depending on sulphur content
MDO (ISO-F-DMB)			10 – 20 mg KOH/g	
HFO	Medium-alkaline + additives		20 – 55 mg KOH/g	

Table 64: Main fuel/lube oil type

Figura 39: Aceite lubricante. Project Guide,

Además, es necesario tener en cuenta el consumo de aceite que es de 1.8kh/h para una autonomía de 375h el consumo total de los cuatro motores es de 2.700 kg que equivalen aproximadamente a 3.2 m³. Como cada motor lleva un tanque de aceite de lubricación independiente el volumen del tanque de lubricación debe ser de al menos 6.7m³ y el fondo del tanque habrá de tener una inclinación longitudinal de 5°, y debe estar dispuesto justo por debajo del motor principal. Es decir, se dispondrán 4 tanques de al menos 4.3 m³ cada uno, debajo de cada uno de los motores.

- Precalentador de aceite lubricante (H-002/Lube oil preheater)

Para cumplir con las condiciones de arranque, es necesario precalentar el aceite lubricante en el tanque de servicio de aceite lubricante. Para cubrir este requisito, se utilizará

el precalentador del separador, que es una práctica habitual y que debe ampliarse en caso de que así lo requiera, de modo que pueda calentar el contenido del tanque de servicio a $\geq 40^\circ \text{C}$ en 4h.

Si los motores deben mantenerse en modo de espera, el aceite lubricante de los motores correspondientes siempre debe estar en el rango de temperatura de las condiciones de arranque. Significa que tampoco se debe exceder el límite máximo de temperatura del aceite lubricante durante el arranque del motor.

El calor necesario a aportar a mayores al calentador del separador es:

$$\phi = \frac{V * \rho * c_e * (T_s - T_e)}{t} = \frac{3.5 * 4 * 920 * 1.88 * (40 - 10)}{4 * 3600} = 50kW$$

- Filtro de succión de aceite lubricante (FIL-004/Lube oil suction strainer)

El filtro de succión de aceite lubricante protege las bombas de aceite lubricante adjuntas contra partículas de suciedad más grandes que pueden haberse acumulado en el tanque.

- Bomba de servicio de aceite lubricante (P-001/Lube oil service pump)

La bomba principal de servicio de aceite lubricante está montada en el extremo libre del motor y es accionada por medio del cigüeñal a través de un engranaje. La presión de aceite en la entrada del motor se controla mediante una válvula de alivio de presión con resorte ajustable (PCV-007). En la tabla del manual "Table 28: Nominal values for cooler specification" se especifica que el caudal de estas bombas debe de ser 120m³/h y en la tabla siguiente la presión requerida por las bombas.

	Min.	Max.
Lube oil temperature engine inlet	65 °C ¹⁾	70 °C ²⁾
Lube oil temperature engine inlet – Preheated before start	40 °C	65 °C ³⁾
Lube oil pressure (during engine operation)		
– Engine inlet	4 bar	5 bar
– Turbocharger inlet	1.3 bar	2.2 bar
Prelubrication/postlubrication (duration ≤ 10 min) lube oil pressure		
– Engine inlet	0.3 bar ⁴⁾	5 bar
– Turbocharger inlet	0.2 bar	2.2 bar
Prelubrication/postlubrication (duration > 10 min) lube oil pressure		
– Engine inlet	0.3 bar ⁴⁾	0.6 bar
– Turbocharger inlet	0.2 bar	0.6 bar
Lube oil pump (attached, free-standing)		
– Design pressure	7 bar	-
– Opening pressure safety valve		8 bar

¹⁾ Regulated temperature.
²⁾ Operation at alarm level.
³⁾ If higher temperatures of lube oil in system will be reached, e.g. due to lube oil separator operation, at engine start this temperature needs to be reduced as quickly as possible below alarm level to avoid a start failure.
⁴⁾ Note: Oil pressure > 0.3 bar must be ensured also for lube oil temperatures up to 70 °C.

Table 42: Lube oil

Figura 40: Características lubricación. Project Guide.

Se seleccionará una bomba de engranajes del modelo 200-2 de la serie ALLMARINE MELO del fabricante ALLWHEELER:

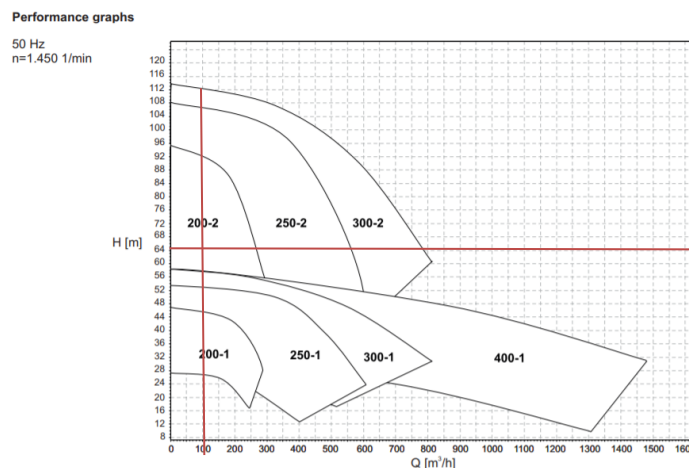


Figura 41 :Selección bomba de servicio aceite lubricante. ALLWHEELER.

- Bomba de aceite lubricante del cilindro (P-075/Cylinder lube oil pump)

El motor está equipado con una bomba de aceite lubricante accionada eléctricamente que suministra lubricante adicional a las camisas del cilindro para manejar demandas específicas. La bomba funciona en el rango de carga del 50 al 100% y para fines de mantenimiento. El manual no nos proporciona la información necesaria para dimensionar esta bomba, aunque se conoce que se tratará de una bomba de pequeñas dimensiones.

- Bomba de prelubricación (P-007/Prelubrication pump)

El GenSet está equipado de serie con una bomba accionada eléctricamente para la prelubricación antes de arrancar y también para la poslubricación cuando el motor está parado. La bomba de prelubricación, que es del tipo de bomba de engranajes, es autocebante y se instala en paralelo a la bomba de servicio de aceite lubricante. Su funcionamiento es solicitado por el sistema de automatización GenSet, siempre que sea necesario. El voltaje para el control automático se debe suministrar desde el cuadro de distribución de emergencia para asegurar la lubricación posterior y previa en caso de una situación crítica.

No. of cylinders, config.		6L	8L	9L	10L
Delivery rate (50/60 Hz)	m³/h	27.3	27.3	32.9	32.9
Nominal pressure	bar	3.5	3.5	3.5	3.5
E-motor capacity (50/60 Hz)	kW	8.0	8.0	10.4	10.4

Table 94: Technical data of the installed prelubrication/postlubrication pump

Figura 42: Especificaciones bomba instalada de prelubricación. Project Guide.

- Enfriador del aceite de lubricación (HE-002/ Lube oil cooler)

A pesar de que la “Table 28” especifica que el enfriador de aceite de lubricación debe ser capaz de disipar 297 kW, el manual nos proporciona la siguiente información sobre el enfriador instalado:

No. of cylinders, config.		6L	8L	9L	10L
Rated heat capacity	kW	494	659	739	824
Max. pressure drop (LO)	bar	Max. 1.1			
Max. pressure drop (LT CW)	bar	Approx. 0.25 – 0.30			

Table 95: Technical data of the installed lube oil cooler

Figura 43: Enfriador de aceite de lubricación. Project Guide.

- Válvula de control de temperatura del aceite lubricante (TCV-001/Lube oil temperature control valve)

La válvula de 3 vías regula la temperatura del aceite lubricante en la entrada del motor al dirigir o no el flujo de aceite lubricante a través del enfriador de aceite lubricante.

TCV-001/Lube oil temperature control valve

The 3-way valve regulates the lube oil temperature at engine inlet by directing the lube oil flow through the lube oil cooler or in by-pass to it. Wax-type thermostatic elements ensure a constant temperature regulation.

No. of cylinders, config.		L engines
Type ¹⁾		Wax-type thermostat
Set point	°C	63
Pressure drop	bar	0.4
¹⁾ Full open temperature of wax elements: Set point. Control range of lube oil inlet temperature: Set point minus 10 K.		

Table 96: Technical data of the lube oil temperature control valve

Figura 44: Válvula de control de temperatura. Projec Guide.

Al igual que el combustible, el aceite lubricante también debe contar con un tratamiento que asegure la eliminación de suciedad o posibles contaminantes para garantizar el rendimiento del aceite lubricante, así como la protección del motor.

- Filtros de aceite lubricante (FIL-002/Lube oil duplex filter)

Los filtros de aceite lubricante integrados en el sistema protegen el motor diesel en el circuito principal y retienen todos los residuos que pueden dañar el motor.

Cada filtro consta de una etapa de filtro primaria y una secundaria. Si uno de los filtros está obstruido, el cambio al segundo filtro y la limpieza debe llevarse a cabo.

Parameter	Unit	Value
Type	-	Duplex filter
Capacity	m³/h	2 x 132
Cartridge type	-	Two stage paper cartridge
Filter mesh width (sphere passing mesh)	µm	1 st stage: 15 2 nd stage: 60

Table 97: Technical data of lube oil duplex filter

Figura 45: Filtro de aceite de lubricación. Project guide.

- Filtro centrífugo de aceite lubricante (CF-008/Lube oil centrifugal filter)

El filtro de derivación incorporado es de tipo centrífugo. Elimina pequeñas impurezas y sirve como dispositivo de inspección para verificar la pureza del sistema de aceite lubricante. La centrifugadora se instalará lo más cerca posible del lado de presión de la bomba de aceite lubricante para mejorar su efecto.

Parameter	Unit	Value
Type	-	Centrifugal filter with paper insert
Min. flow (at 3 bar)	m³/h	3.1
Max. flow (at 7 bar)	m³/h	4.5

Table 98: Technical data of lube oil centrifugal filter

Figura 46: Filtro centrífugo de aceite. Project Guide.

- Trampa de condensados (TR-001/Condensate trap See section Crankcase vent)

Su finalidad es evitar que agua condensada que se haya podido formar en las tuberías de ventilación ingrese al motor o al tanque de servicio. Deben ir ubicadas lo más cerca posible de las conexiones de ventilación.

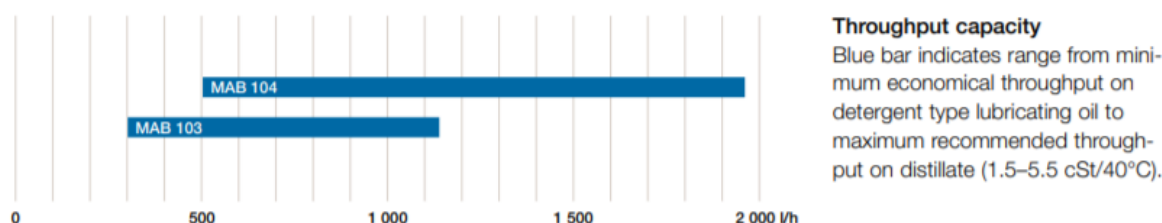
- Separador del aceite lubricante (CF-001/Lube oil separator)

La eliminación de residuos de combustión, agua y otras contaminaciones mecánicas es la tarea principal de los separadores / centrifugadoras instalados en derivación al sistema principal de servicio de aceite lubricante del motor. El separador de aceite lubricante debe ser del tipo autolimpiante. El diseño se basará en una cantidad de aceite lubricante de 1.0 l / kW. Esta cantidad de aceite lubricante debe limpiarse en 22 horas, ya que se considera un tiempo de limpieza de 2h al día. Se recomienda la instalación de un separador de aceite lubricante por motor para garantizar una separación continua durante el funcionamiento.

La fórmula para determinar el caudal del separador (Q) es:

$$Q = \frac{1.0 * P * 5}{22} = \frac{1 * 3600 * 5}{22} = 818.2 \text{ l/h}$$

El separador elegido será el modelo MMB 103 del fabricante ALFA LAVAL que es de tipo centrífugo y requiere un motor con una capacidad de 0.75 kW:



Motor

4-pole 0,75 kW standard motor, 50 or 60 Hz, 3-phase.
Direct on-line start.

If Y/D-start is used maximum 5 seconds in Y position.

Power consumption

idling	0,4 kW
running (at max. capacity)	0,6 kW
max. power consumption	0,6 kW (at starting-up)

Figura 47: Separador de aceite de lubricación. ALFA LAVAL.

Por tanto, el calentador del separador de aceite será el mismo que el precalentador del aceite lubricante (H-002). La temperatura de separación es de 95°C y se considera que la temperatura de entrada al separador es de 40°C. Usando un aceite de lubricación de calor específico 1,88 KJ/kg K y densidad 920 Kg/m³, se necesita una potencia de:

$$\Phi = \frac{Q \cdot \rho \cdot c_e \cdot (T_s - T_e)}{3600} = \frac{0.818 * 920 * 1.88 * (95 - 40)}{3600} = 21.61 \text{ kW}$$

- Bomba de trasiego de aceite lubricante (P-012/Lube oil transfer pump)

La bomba de transferencia de aceite lubricante suministra aceite nuevo desde el tanque de almacenamiento de aceite lubricante al tanque operativo.

Las bombas de trasiego de aceite lubricante deberán ser capaces de llenar el tanque de servicio en 2 h, con lo cual se puede determinar la capacidad mínima que deben entregar:

$$Q_{trasiego} = \frac{V_{tanque\ decantación}}{2\ horas} = \frac{3.5 * 4}{2} = 7\ m^3/h$$

Se tomarán las bombas RC-1 ½ de la serie RC de ITUR KSB que consumen una potencia de 2 kW para una capacidad de elevación de 4 bares.

En la siguiente imagen se muestra el diagrama del sistema de lubricación de los motores diésel:

Engine			
P-001	Service pump (engine driven)	P-075	Cylinder lube oil pump
GenSet			
CF-008	Centrifuge (by-pass filter)	P-007	Prelubrication pump
FIL-002	Full-flow depth filter	PCV-007	Pressure control valve
FIL-004	Suction strainer	T-001	Service tank, GenSet
HE-002	Cooler	TCV-001	Temperature control valve
1,2 NRV-001	Non return valve		
Engine room			
CF-001	Separator	P-012	Transfer pump
CF-003	MDO separator	T-006	Leakage oil collecting tank
FIL-001	Automatic filter (optional)	T-021	Sludge tank
H-002	Preheater	TR-001	Condensate trap
MOD-007	Lube oil separator module		
Engine pipe connections			
2101	Engine inlet	2841	Vent crankcase
2122	Oil pump inlet	9151/9152	Dirty oil drain from crankcase
2132	Oil pump outlet	9153/9154	Dirty oil drain from crankcase
2161	Control line to pressure control valve	9171/9172	Dirty oil drain from oil pan
GenSet pipe connections			
2261	From separator	2273	To automatic filter (optional)
2262	Extra drain (optional)	2361	Supply
2271	To separator		

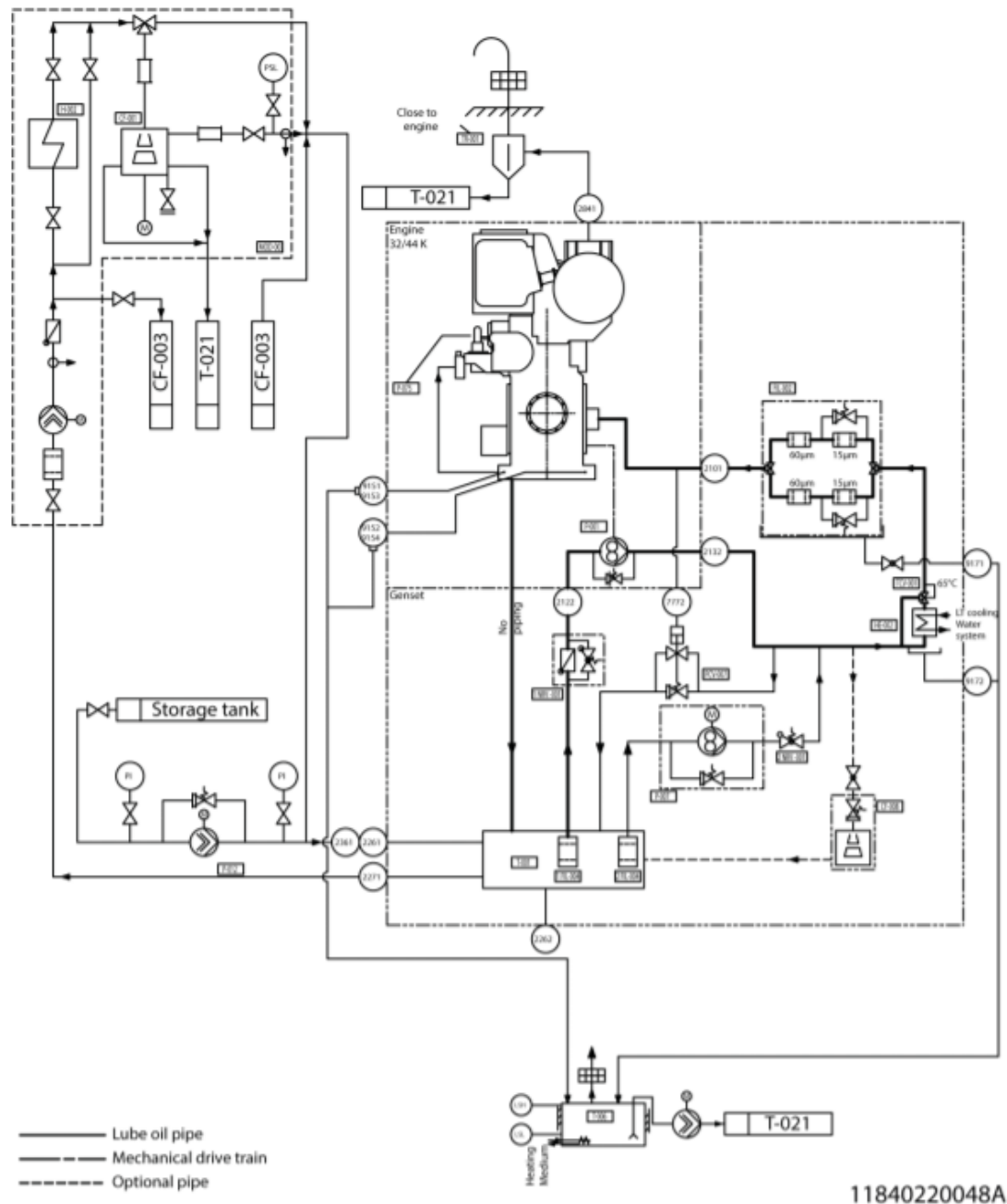


Figura 48: Sistema de lubricación

6.4 Sistema de exhaustación

El sistema de gases de exhaustación de un motor está formado por todos aquellos tubos o conductos que permiten a los gases de la combustión del motor escapar al medio ambiente. Cada motor dispone de su propio conducto de escape aislado térmicamente.

La resistencia, que los conductos de escape ofrezcan a los gases, tiene gran influencia en la carga térmica y el consumo del motor. Es muy importante que la resistencia total del sistema de escape no supere los 30 mbar de caída de presión.

La selección del diámetro de la tubería depende de la potencia del motor, el volumen de los gases de escape y la contrapresión del sistema, que a su vez también depende de la longitud y disposición de la tubería, así como del número de curvas. Se recomienda no superar una velocidad máxima de gases de escape de aproximadamente 40 m / s.

A la hora de llevar a cabo la instalación del sistema de exhaustación deben considerarse los siguientes puntos:

- Los tubos de escape de dos o más motores no deben unirse.
- Debido a las altas temperaturas involucradas, los tubos de escape deben poder expandirse. Las juntas de expansión que se proporcionarán para este propósito se deben ser montadas entre soportes de tubería de punto fijo. Se requiere un compensador justo después de la carcasa de salida del turbocompresor para evitar la transmisión de fuerzas al mismo turbocompresor. Estas fuerzas incluyen las que resultan del peso, la expansión térmica o el desplazamiento lateral de la tubería de escape.

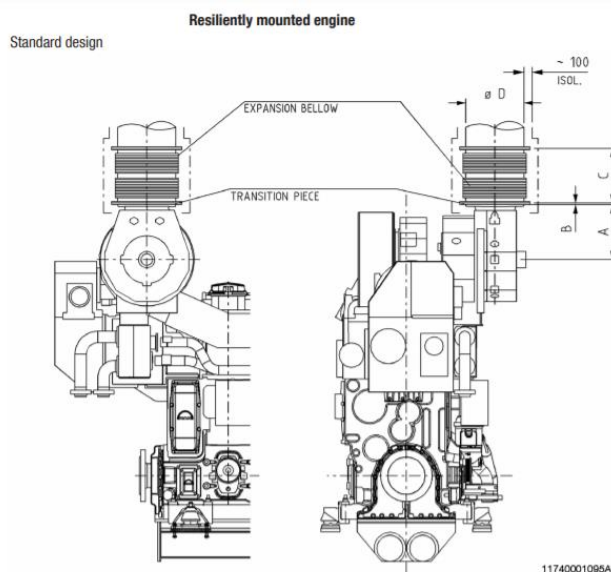


Figure 77: Standard design L engine – Resiliently mounted engine

No. of cylinders, config.		6L	8L	9L	10L
Turbocharger		TCR 20	TCR 22		
A	mm	514	671		
B		20			
C		1,004	1,063	1,130	
D		610	711	813	

Table 126: Position of exhaust outlet casing L engine – Standard design – Resiliently mounted engine

Figura 49: Sistema de exhaustación. Project Guide.

- La tubería de escape debe colgarse o sostenerse elásticamente por medio de amortiguadores para evitar la transmisión de sonido a otras partes del buque.
- Las tuberías de escape deben estar provistas de desagües de agua, que deben revisarse regularmente para drenar el agua de condensación o posibles fugas de agua de las calderas de gases de escape si están instaladas.
- Durante los trabajos de puesta en marcha y mantenimiento, puede ser necesario comprobar la contrapresión del sistema de gases de escape para lo cual se empleará una toma de medición instalada a 1 o 2 metros tras la salida de gases de escape del turbocompresor, en una longitud recta de tubería en una posición de fácil acceso.

El sistema de exhaustación estará formado por:

- El silenciador cuya misión es reducir al máximo el ruido del motor. El silenciador debe estar equipado con un apagachispas y si es posible, debe instalarse hacia el final de la línea de escape. Es preferible una situación de instalación vertical para evitar formaciones de bolsas de combustible de gas en el silenciador. La ruta de flujo, que atraviesa el silenciador en línea recta, garantiza una reducción óptima del ruido con una resistencia mínima al flujo. Los puertos de limpieza del apagachispas deben ser fácilmente accesible.

- Una caldera que aprovechará la temperatura de los gases de exhaustación
- Aislamiento. Es importante que el sistema se encuentre correctamente aislado para reducir la temperatura exterior a niveles aceptables. aislamiento también sirve para prevenir temperaturas por debajo del punto de rocío en la superficie interior. En caso de que el aislamiento sea insuficiente y existan cambios repentinos en el régimen del motor, se intensificará la corrosión en la superficie interior de los conductos.

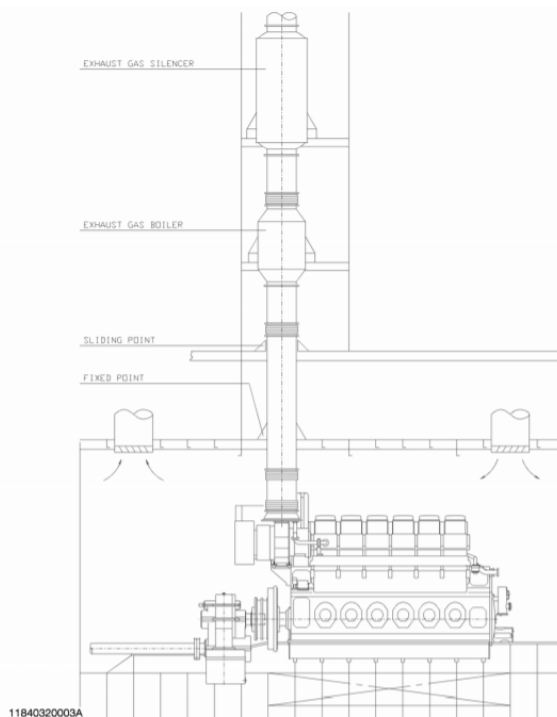


Figura 50: Ejemplo sistema de evacuación. Project Guide.

Las características de los gases de exhaustación son función del motor seleccionado, estas vendrán especificadas en las características. Para nuestro caso tendremos que:

Exhaust gas data ¹⁾					
Volume flow (temperature turbocharger outlet) ²⁾	m ³ /h	39,787	53,049	59,680	66,311
Mass flow	t/h	22.1	29.4	33.1	36.8
Temperature at turbine outlet	°C	354	354	354	354
Heat content (190 °C)	kW	1,088	1,451	1,632	1,813
No. of cylinders, config.		6L	8L	9L	10L
Permissible exhaust gas back pressure after turbo-charger (maximum)	mbar	50	50	50	50

¹⁾ HT cooling water flow first through water jacket and cylinder head, then through HT stage charge air cooler.
²⁾ For design see section [Cooling water system description, Page 182](#).
³⁾ Under mentioned above reference conditions.
⁴⁾ All exhaust gas data values relevant for HFO operation. Tolerances: Quantity ±5 %; temperature ±20 °C.
⁵⁾ Calculated based on stated temperature at turbine outlet and total atmospheric pressure according mentioned above reference conditions.

Table 30: Temperature basis, nominal air and exhaust gas data – MAN L32/44 IMO Tier II – Auxiliary GenSet

Figura 51: Características gases de exhaustación. Project Guide,

6.5 Sistema de aire de arranque

El arranque por aire comprimido está determinado por la inyección de este gas a elevada presión dentro del cilindro, moviendo el pistón y por ende a toda la masa mecánica. Durante las primeras revoluciones, el motor funciona como si fuese a aire comprimido, hasta que la energía almacenada por el volante sea suficiente como para vencer las resistencias de los

períodos de carga y compresión necesarias en el alcance de temperatura de aire, para el encendido del combustible, el cual ingresa en el cilindro una vez que se va inhibiendo la entrada de aire. El equipo provisto para arrancar los motores debe permitir que los motores arranquen desde la condición de operación 'cero' con las instalaciones a bordo, sin ayuda externa.

El suministro de aire comprimido a la planta de motores requiere botellas y compresores de aire de arranque con una capacidad de almacenamiento y suministro de aire que cumplan con los requisitos de la sociedad de clasificación pertinente.

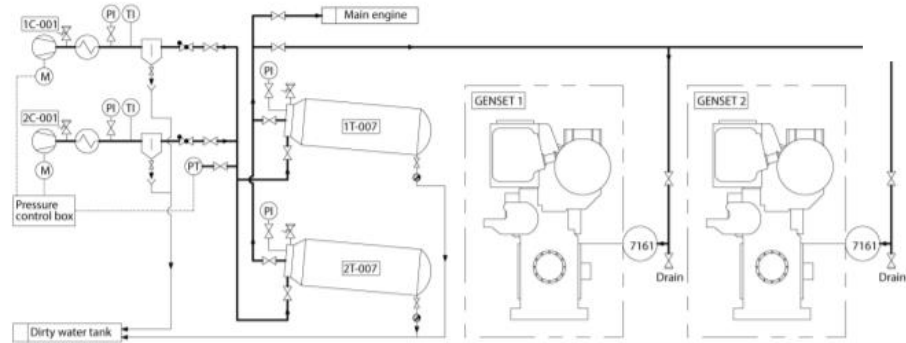


Figure 67: Compressed air system

Components			
1,2 C-001	Starting air compressor	1,2 T-007	Starting air receiver
On GenSet connections			
7161	Starting air inlet on GenSet		

Figura 52: Sistema de aire de arranque. Project Guide.

- Botella de aire de arranque (T-007/Starting air receiver)

El suministro de aire de arranque debe dividirse en al menos dos botellas de aire de arranque del mismo tamaño, que pueden usarse independientemente una de la otra. Dependiendo del número de maniobras de arranque requeridas y el volumen de consumo por maniobra, el tamaño de los receptores de aire de arranque se puede calcular de acuerdo con la fórmula dada. El número exacto de maniobras de arranque requeridas depende de la disposición del sistema y de los requisitos especiales de la sociedad de clasificación.

$$V = \frac{V_{st} * f_{drive} * (z_{st} + z_{safe})}{p_{max} - p_{min}}$$

Donde:

V_{st} es el aire necesario por cada arrancada como se puede comprobar en la siguiente tabla el volumen para el arranque es de 2.5Nm³

No. of cylinders, configuration		6L	8L	9L	10L
Control air consumption	Nm ³ /h ¹⁾	1 – 5			
Air consumption per start ^{2) 6)}	Nm ³ ¹⁾	2.5	2.8	3.0	3.0
Air consumption per jet assist activation (5 sec duration) ³⁾	Nm ³ ¹⁾	2.3	3.0	3.0	3.0
Air consumption per slow turn manoeuvre ^{3) 4) 6)}		5.0	5.5	6.0	6.0
Air consumption jet assist in case of emergency loading	Nm ³ ⁵⁾	To be considered: 20 jet assist activations during loading from 0 % to 100 % load			

¹⁾ Nm³ corresponds to one cubic metre of gas at 20 °C and 100.0 kPa abs.

²⁾ The air consumption per starting manoeuvre/slow turn activation depends on the inertia moment of the unit. The stated air consumption refers only to the engine. For the electric propulsion a higher air consumption needs to be considered due to the additional inertia moment of the generator (approximately increased by 50 %).

³⁾ The mentioned above air consumption per jet assist activation is valid for a jet duration of 5 seconds. The jet duration may vary between 3 sec and 10 sec, depending on the loading (average jet duration 5 sec).

⁴⁾ Required for plants with power management system demanding automatic engine start. The air consumption per slow turn activation depends on the inertia moment of the unit. This value does not include air consumption required for the automatically activated engine start after the end of the slow turn manoeuvre.

⁵⁾ See accordingly section [Load application – Load steps \(for electric propulsion/auxiliary GenSet\), Page 40](#).

⁶⁾ In case of GenSets it is recommended for the generator to be equipped with jacking lubrication oil system in order to avoid increased wear at turning gear, gear ring and at alternator bearing.

Table 24: Starting air and control air consumption

Figura 53: Consumo de aire de arranque. Project Guide.

f_{drive} es un factor que vale 1,5 para motores que mueven un alternador y 1 si no lo hacen.

z_{st} y z_{safe} son el número mínimo de arranques consecutivos requerido por la sociedad de clasificación y de seguridad, respectivamente. El DNV-GL Pt.4 Ch.1 Sec.2 establece lo siguiente:

2.7.2 Starting with compressed air

Main engines which are started with compressed air shall be equipped with at least two starting air compressors. At least one of the air compressors shall be driven independently of the main engine and shall supply at least 50% of the total capacity required.

The total capacity of the starting air compressors shall be such that the starting air receivers can be charged to their final pressure within one hour (the receivers being at atmospheric pressure at the start of the charging operation).

Normally, compressors of equal capacity shall be installed.

The total volume of the starting air receiver shall be such that it can be proved during the river trials that the quantity of air available is sufficient for at least 6 start-up operations with non-reversible main engines and at least 12 start-up operations with reversible main engines. Recharging of the starting air receivers during the execution of the start-up operations is not allowed.

For multi-engine propulsion plants, the capacity of the starting air receivers shall be sufficient to ensure at least 3 consecutive starts per engine. However, the total capacity shall not be less than 12 starts and need not exceed 18 starts.

Guidance note:

No special starting air storage capacity needs to be provided for auxiliary engines in addition to the starting air storage capacity specified above. The same applies to pneumatically operated regulating and manoeuvring equipment and to the air requirements of typhoon units.

---e-n-d---of---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

Other consumers with a high air consumption may be connected to the starting air system only if the stipulated minimum supply of starting air for the main engines remains assured.

Es decir, la suma de z_{st} y z_{safe} debe ser como mínimo igual a 12.

P_{max} y P_{min} son las presiones máxima y mínima necesarias para el arranque. Se han tomado valores de 30 y 10, respectivamente como recomienda la guía.

Entonces se instalarán cuatro receptores de aire comprimido con una capacidad total igual a:

$$V = \frac{2.5 * 1.5 * (12)}{30 - 10} = 2.25m^3$$

Si vamos a un catálogo comercial de tanques de aire comprimido comprobamos que no existen botellas con una capacidad de 562 l y por ello, instalaremos 4 botellas con una capacidad cada una de 720l que equivale a un volumen total de 2,88m³.

- Compresor de aire de arranque (C-001/Starting air compressor)

Estos compresores son multi-etapa, equipados con válvulas de seguridad, enfriadores de aire comprimido y trampas de condensado.

Se deben proporcionar dos o más compresores de aire de arranque. Al menos uno de los compresores de aire debe accionarse independientemente del motor principal y debe suministrar al menos el 50% de la capacidad total requerida. La capacidad total de los compresores de aire de arranque debe calcularse de modo que el volumen de aire necesario para el número requerido de arranques se complete con la presión atmosférica en una hora.

Las capacidades del compresor se calculan de la siguiente manera:

$$P = \frac{V * 30}{1000}$$

P [Nm³/h]	Total volumetric delivery capacity of the compressors
V [litres]	Total volume of the starting air receivers at 30 bar service pressure

$$P = \frac{720 * 30}{1000} = 21.6 \frac{m^3}{h} \text{ por motor}$$

Por lo que la capacidad total de los compresores en cada cámara de máquinas debe ser de al menos 43.2 m³/h. Se instalarán dos compresores, uno en cada cámara de máquinas, con capacidad para arrancar dos motores, que tendrán una interconexión en caso de fallo de uno de ellos.

Se seleccionarán los compresores de 3 etapas refrigerados por aire de la serie Mistral del fabricante Sauer con una capacidad de 50m³/h y un consumo de 9.6 kW.

Technical data

MISTRAL series | Technical data for a final pressure of 30 barg

Type	Final pressure barg	Stages	Cylinder	Speed rpm	Charging capacity m³/h	Power consumption kW	Heat dissipation kJ/sec	Weight kg	Length mm	Width mm	Height mm
H 25	30	2	2	50 double-strokes/min	1.8	Hand air compressor		28	312	230	200
WP 15 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	12.0 15.0 18.0	2.7 3.4 4.1	3 4 5	135	855	600	630
WP 22 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	17.0 21.0 25.0	3.5 4.4 5.4	4 5 6	135	855	600	630
WP 33 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	23.0 30.0 35.0	5.1 6.5 7.8	6 7 9	145	890	600	630
WP 45 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	40.0 50.0 60.0	7.6 9.6 11.5	9 11 13	318	1,214	742	820
WP 65 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	53.0 67.0 80.0	10.2 12.8 15.4	12 15 18	328	1,254	742	820

Figura 54: Selección compresor aire de arranque. MISTRAL.

6.6 Sistema de vapor para los servicios de propulsión

El buque estará provisto de dos calderas de vapor. En este tipo de buque, la instalación de vapor de agua está diseñada y designada para:

- Tanque de lodos
- Precalentador de agua de refrigeración del circuito de HT
- Precalentador de combustible
- Precalentador de aceite lubricante (se usa el de combustible)

Se considera un vapor saturado a 7 bar y una temperatura de 165 °C. La entalpía de condensación es de 494 kcal/kg.

Para determinar la cantidad de vapor necesario para cada consumidor, aplicamos la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{\Phi_t}{h}$$

Donde: Cv: necesidad de vapor kg/h.

Φt: potencia calorífica necesaria kW.

h: 494 kcal/kg o 0,5745 KWh/kg. Entalpía del vapor.

- Tanque de lodos

Para los tanques que disponen de calefacción, la potencia calorífica necesaria se calcula como la suma de la necesaria para elevar la temperatura del fluido (Φ_1) y la necesaria para mantenerlo a esa temperatura (Φ_2): $\Phi_t = \Phi_1 + \Phi_2$

$$\Phi_1 = \frac{V * \rho * c_e * (T_s - T_e)}{t}$$

$$\Phi_2 = \sum k_i * A_i * (T_m - T_{ext})$$

Donde:

V: volumen del tanque (m³). $V = 22.822 \text{ m}^3$

ρ : densidad del fluido (kg/m³). $\rho = 913 \text{ kg/m}^3$

c_e : calor específico del fluido (kcal/Kg°C) $c_e = 0.450 \text{ kcal/Kg}^\circ\text{C}$

T_s : temperatura de salida del calentador (°C). Como ya se ha visto es de 40°C

T_e : temperatura de entrada del calentador (°C). Consideraremos 0°C

t : tiempo de calentamiento (h). Consideraremos un tiempo de calentamiento de 10 horas.

T_m : temperatura media del contenido del tanque (°C). 40°C

T_{ext} : temperatura del exterior del tanque (°C).

A : área de transmisión (m²).

Tabla 7: Transmisión de calor tanque de lodos.

Tanque lodos	A(m ²)	Medio en contacto	T_{ext} (°C)	T_m (°C)	K (kcal/m ² °C)	Φ_2 (kcal/h)
Cubierta	16,8	Camara de máquinas	25	40	5	1260
Fondo	16,8	Mar	0	40	15	10080
Mamparo popa	5,6	Tanque	5	40	7	1372
Mamparo proa	5,6	Tanque	5	40	7	1372
Mamparos laterales	7,84	Tanque	5	40	7	1920,8
						16004,8
TOTAL						8

$$\Phi_1 = \frac{V * \rho * c_e * (T_s - T_e)}{t} = \frac{22.822 * 913 * 0.450 * (40 - 0)}{10} = 37505.7 \text{ kcal/h}$$

$$\Phi_t = 37505.7 + 16004.8 = 53510.5 \text{ kcal/h}$$

$$C_v = \frac{\Phi_t}{h} = \frac{53510.5}{494} = 108.3 \text{ kg/h}$$

- Precalentador

Tabla 8: Transmisión de calor precalentador.

Precalentador	Φ (kW)	C_v (kg/h)
Agua HT	72	125,326371
Combustible	38	66,1444735
Lubricante	60,5	105,308964
TOTAL		296,779809

Por tanto, la cantidad de vapor que se necesita producir en la caldera para atender a los servicios de la propulsión es de 405kg/h.

7 VENTILACIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS

La ventilación consiste en el suministro de aire a un espacio cerrado para satisfacer las necesidades de sus ocupantes y los requisitos del equipamiento. La capacidad del sistema de ventilación de la cámara de máquinas debe ser tal que suministra el aire necesario para la combustión de los dos motores diésel y de las caldera que operan en cada una de ellas y transporta el calor radicante de los motores y auxiliares instalados para proporcionar unas condiciones de trabajo confortables y evitar el sobrecalentamiento de los aparatos sensibles al motor.

Las condiciones de diseño serán las siguientes:

1. Densidad del aire: 1.13 kg/m³
2. Calor específico del aire: 1.01 KJ/kg K
3. Temperatura de ambiente del aire exterior: 35°C
4. Incremento máximo de la temperatura desde la aspiración del aire de máquinas a la entrada del guardacalor: max 12.5 °C.

Para llevar a cabo el dimensionamiento del sistema de ventilación de la cámara de máquinas nos fundamentaremos en la norma UNE-EN-ISO 8861: Construcción Naval, Ventilación de la sala de máquinas de barcos de motor diesel, Requisitos de diseño y bases de cálculos (ISO 8861:1998).

El primer consiste en el cálculo del flujo de aire total, Q , cuyo valor debe ser al menos el del valor más alto de los dos cálculos siguientes:

$$Q = q_c + q_h$$

$$Q = q_c * 1.5$$

- Flujo de aire para combustión

$$q_c = q_{dp} + q_{dg} + q_b$$

Donde,

q_c es el flujo de aire de combustión en m³/s

q_{dp} es el flujo de aire para la combustión de los motores principales diésel en m³/s

q_{dg} es el flujo de aire para la combustión de los motores diésel de los generadores m³/s

q_b es el flujo de aire para la combustión de las calderas en m³/s

Como la propulsión es diésel eléctrica, todos los motores diésel formarán parte de un grupo generador, es decir, $q_c = q_{dg} + q_b$.

Para el cálculo de aire para combustión de los motores diésel de los generadores debe emplearse la siguiente fórmula:

$$q_{dg} = \frac{P_{dg} * m_{ad}}{\rho}$$

Donde,

ρ es la densidad del aire a +35°C, 70RH y 101.3 kPa, es decir, $\rho = 1.13 \text{ kg/m}^3$

P_{dg} es la potencia normalizada de servicio de los motores diésel de los generadores a la máxima potencia de salida en kW. Cada cámara de máquinas contará con dos motores con una potencia de salida total de 3600 kW cada uno, por lo que la potencia P_{dg} será igual a 3600*2=7200 kW.

m_{ad} es el aire necesario para la combustión del motor diésel, en kg/kW*s. Este dato lo obtenemos de la guía del motor que aparece en la siguiente tabla:

$$m_{ad} = 6.67 \frac{kg}{kWh} * \frac{1h}{3600s} = 0.00185 \frac{kg}{kWs}$$

Engine output	%	100	85	75	50
	kW/cyl.	583	495	437	291
Speed	rpm	720/750			
Heat to be dissipated ¹⁾					
Charge air:	kJ/kWh				
Charge air cooler (HT stage) ²⁾		860	751	725	465
Charge air cooler (LT stage) ²⁾		381	350	350	314
Lube oil cooler ³⁾		353	384	426	521
Jacket cooling		390	401	425	526
Nozzle cooling		14	14	14	14
Heat radiation (engine, based on engine room temperature 35 °C)		147	151	158	204
Air data					
Temperature of charge air:	°C				
After compressor outlet		230	205	194	148
At charge air cooler outlet		43	43	43	43
Air flow rate	kg/kWh	6.48	6.62	6.94	7.24
Charge air pressure (absolute)	bar abs	5.00	4.34	4.02	2.85
Exhaust gas data ⁴⁾					
Mass flow	kg/kWh	6.67	6.81	7.13	7.44
Temperature at turbine outlet	°C	311	308	315	346
Heat content (190 °C)	kJ/kWh	864	861	954	1,249
Permissible exhaust gas back pressure after turbo-charger (max.)	mbar	50	-		

¹⁾ Tolerance: +10 % for rating coolers; –15 % for heat recovery.

²⁾ The values of the particular cylinder numbers can differ depending on the charge air cooler specification.

³⁾ Without separator heat (30 kJ/kWh can be considered in general).

⁴⁾ Tolerances: Quantity ±5 %; temperature ±20 °C.

Table 32: Load specific values at ISO conditions – MAN L32/44 IMO Tier II – Auxiliary GenSet

Figura 55: Flujo de aire. Project Guide.

Entonces,

$$q_{dg} = \frac{7200 * 0.00185}{1.13} = 11.8 \text{ m}^3/s$$

El flujo de aire para la combustión de las calderas y calentadores de fluido térmico, q_b , se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$q_b = \frac{m_s * m_{fs} * m_{af}}{\rho}$$

Donde,

m_s es la capacidad de vapor total (máximo rendimiento continuo de la caldera en kg/s. En el apartado anterior obtuvimos que para abastecer a los servicios de propulsión se necesitaba una capacidad de vapor total a 405 kg/h por motor que equivale a 0.1125 kg/s como este valor solo considera el vapor generado para los servicios de propulsión tendremos una capacidad de caldera mayor que también sea capaz de producir vapor para los servicios de habilitación. Para una primera aproximación tomaremos una necesidad de 0,75 kg/h por tripulante y pasajero por lo que la demanda será de 337.5 kg/h. La suma resulta 742.5 kg/h y consideraremos una caldera de 1000kg/h para tener un margen. Finalmente $m_s = 0.28 \text{ kg/s}$.

m_{fs} es el consumo de combustible, en kilogramos de combustible por kilogramo de vapor. Como no disponemos de este dato, tomaremos el aportado por la regla que es igual a $m_{fs} = 0.077 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$.

m_{af} es el aire necesario para la combustión, en kg de aire por kg de combustible. De nuevo tomaremos el valor recomendado por la guía ya que no se dispone de datos específicos $m_{af} = 15.7 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$.

ρ es la densidad del aire a +35°C, 70RH y 101.3 kPa, es decir, $\rho = 1.13 \text{ kg/m}^3$

$$q_b = \frac{0.28 * 0.077 * 15.7}{1.13} = 0.3 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Conocido q_{dg} y q_b ya se puede obtener el valor de q_c :

$$q_c = 11.8 + 0.3 = 12.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Flujo de aire para evacuación de la emisión de calor

La cantidad de flujo de aire necesaria para la evacuación de calor, q_h , debe calcularse en m^3/s mediante la ecuación:

$$q_h = \frac{\phi_{dp} + \phi_{dg} + \phi_b + \phi_p + \phi_g + \phi_{el} + \phi_{ep} + \phi_t + \phi_o}{\rho * c * \Delta T} - 0.4(q_{dp} + q_{dg}) - q_b$$

ϕ_{dp} es la emisión de calor de los motores diésel de propulsión principal en kW. En nuestro caso $\phi_{dp} = 0$

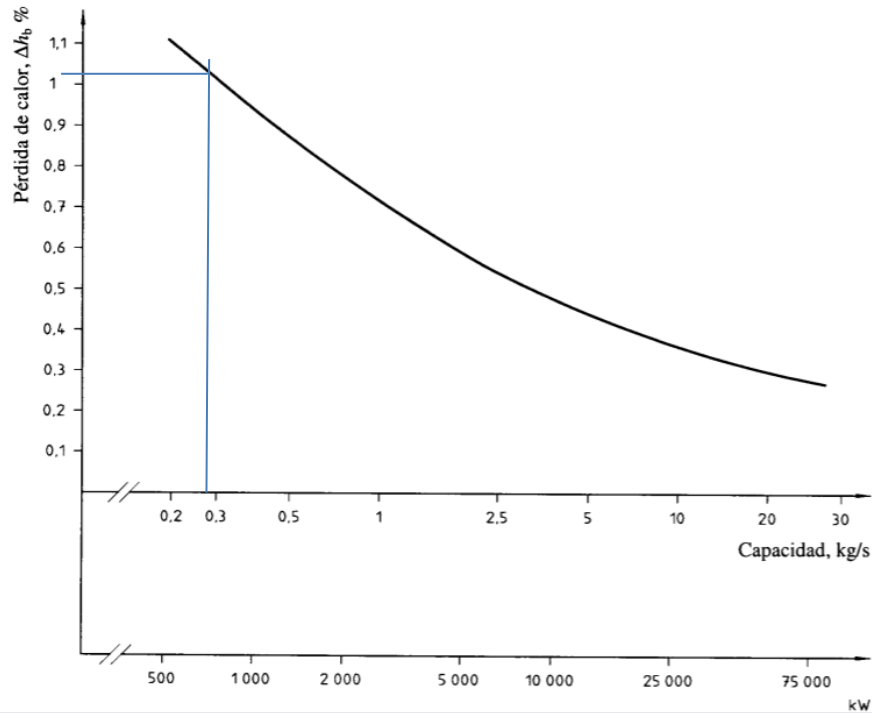
ϕ_{dg} es la emisión de calor de los motores diésel del generador en kW. En la tabla "Table 32: Load specific values at ISO conditions – MAN L32/44 IMO Tier II – Auxiliary GenSet" comprobamos que la emisión de calor de cada uno de los motores diésel es de 147kJ/kWh:

$$\phi_{dg} = 147 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}} * 7200\text{kW} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 294 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 294\text{kW}$$

ϕ_b es la emisión de calor de las calderas en kW

$$\phi_b = m_s * m_{fs} * h * \frac{\Delta h_b}{100} * B_1$$

Con $m_s = 0.28 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$, $m_{fs} = 0.077 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$, h el más bajo valor calorífico del combustible que tomaremos el valor aportado por la norma de $h = 40.2 \text{ kJ/kg}$, Δh_b la pérdida de calor y B_1 una constante que se aplica a la ubicación de la caldera. Estos últimos valores los obtendremos de los apartados 7.2 y 6.7 respectivamente.



$$\Delta h_b = 1.02\%$$

$$B_1 = 0.1$$

$$\phi_b = 0.28 * 0.077 * 40.2 * \frac{1.02}{100} * 0.1 = 0.000884 \text{ kW}$$

ϕ_p es la emisión de calor de las tuberías de vapor y condensación en kW.

$$\phi_p = m_{sc} * \frac{\Delta h_p}{100} = 332.73 * \frac{0.2}{100} = 0.46546 \text{ kW}$$

Considerando, m_{sc} es el consumo total de vapor el kW $m_{sc} = 232.73 \text{ kW}$ y $\Delta h_p = 0.2\%$.

ϕ_g es la emisión de calor del generador eléctrico refrigerado por aire en kW

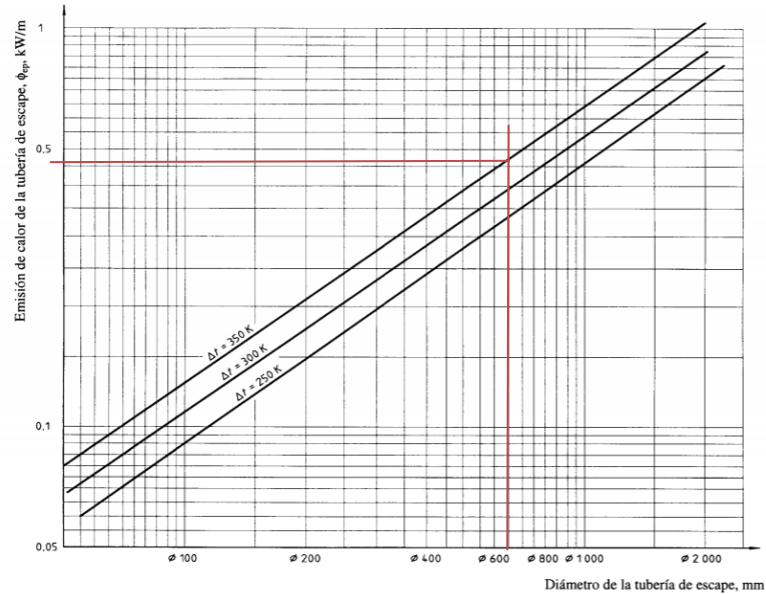
$$\phi_g = P_g * \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) = 7200 * \left(1 - \frac{96.5}{100}\right) = 252 \text{ kW}$$

Con $P_g = 7200 \text{ kW}$ y $\eta = 96.5\%$.

ϕ_{el} es la emisión de calor de las instalaciones eléctricas en kW

$$\phi_{el} = 0.2 * \phi_g = 0.2 * 252 = 50.4 \text{ kW}$$

ϕ_{ep} es la emisión de calor de las tuberías de escape en kW que se obtiene en la siguiente gráfica presente en el punto 7.3 de la norma.



$$\phi_{ep} = 0.45 kW$$

ϕ_t es la emisión de calor de los tanques de calefacción

Tabla 1
Emisión de calor de los tanques de calefacción

Superficie del tanque	Emisión de calor, ϕ_t , en kW/m ² , a una temperatura del tanque de				
	60 °C	70 °C	80 °C	90 °C	100 °C
No aislado	0,14	0,234	0,328	0,42	0,515
Con 30 mm de aislamiento	0,02	0,035	0,05	0,06	0,08
Con 50mm de aislamiento	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05

Supondremos un aislamiento de 50mm y consideraremos los tanques de sedimentación, uso diario, almacén y lodos a 60°C con una superficie entre todos igual a 122.3 m². Por tanto,

$$\phi_t = 122.3 * 0.01 = 1.223 kW$$

ϕ_o es la emisión de calor de otros componentes. Lo consideraremos como un 5%.

$$c = 1.01 kJ/(kgK)$$

$$\Delta T = 12.5 K$$

Finalmente,

$$q_h = \frac{(294 + 0.000884 + 0.46546 + 252 + 50.4 + 0.45 + 1.223) * 1.05}{1.13 * 1.01 * 12.5} - 0.4(11.8) - 0.3$$

$$= 39 m^3/s$$

Una vez conocidos los valores de q_c y q_h ya podemos conocer el valor del flujo de aire total:

$$Q = q_c + q_h = 12.1 + 39 = 51.1 m^3/s$$

$$Q = q_c * 1.5 = 12.1 * 1.5 = 18.15 m^3/s$$

Y el flujo de aire total, Q, será de 51.1 m³/s o lo que es igual a 183960 m³/h. Este flujo se corresponde con el flujo necesario total de una cámara de máquinas por lo que el flujo total relativo a las dos cámaras de máquinas de las que dispone el buque será el doble.

7.1 Selección de los ventiladores y extractores

Se opta por la instalación de 2 ventiladores en cada cámara de máquinas, cada uno deberá impulsar un caudal mínimo de aire de 25.55 m³/s, es decir, 91980 m³/h.

Seleccionaremos los ventiladores de la serie A-AXITUB SOLID 6-1250T 40-12 del fabricante Novavent y capaz de suministrar 94.500 m³/h y con un consumo de 18.5 kW cada uno.

Y, el aire que tenemos que extraer de la cámara de máquinas es:

$$q_h = 39 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto, se instalarán 2 extractores en la cámara de máquinas, cada uno deberá poder extraer un caudal mínimo de aire de 19.5 m³/s (70200 m³/h).

Seleccionaremos los ventiladores de la serie A-AXITUB SOLID 6-1250T 30-6 del fabricante Novavent y del modelo Axitub capaz de extraer 71700 m³/h y con un consumo de 5.5 kW cada uno.

En los Anexos se podrán encontrar todos los catálogos comerciales empleados.

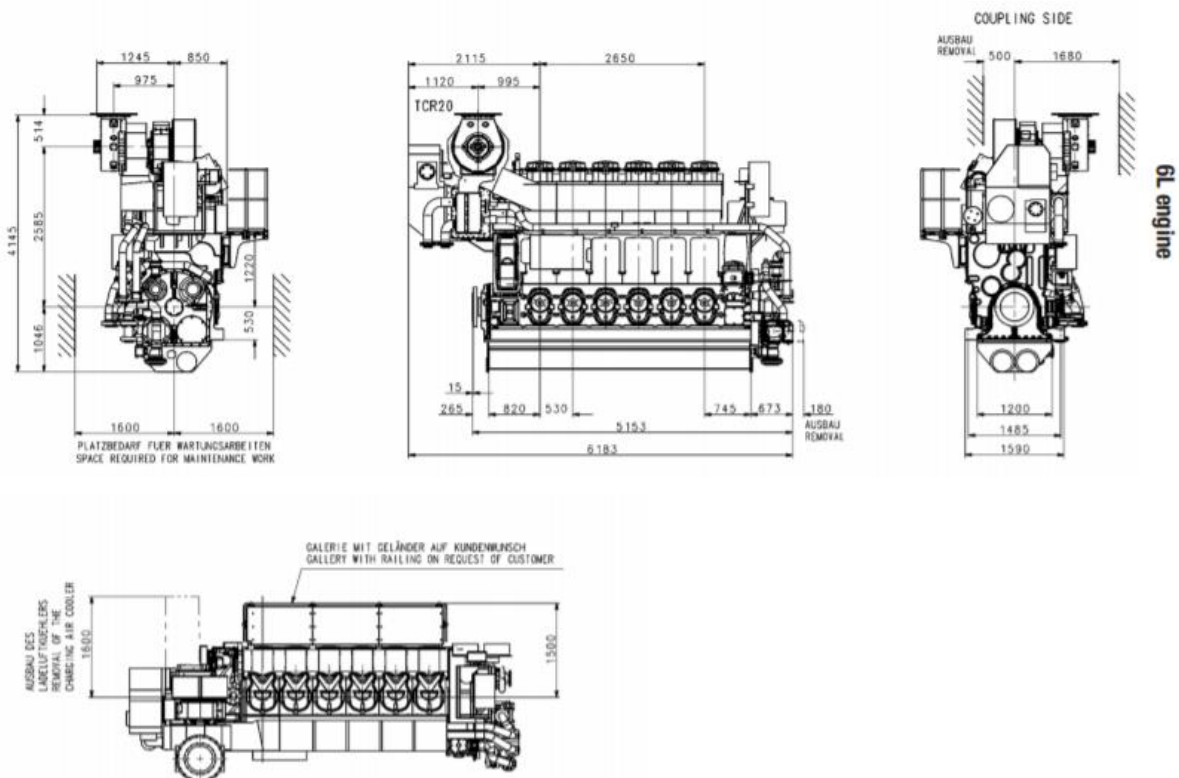
8 DISPOSICIÓN PRELIMINAR DE LA CÁMARA DE MÁQUINAS

En este apartado se tendrán en cuenta las consideraciones sobre la disposición de la cámara de máquinas que se establecen en la guía del motor seleccionado, para la posterior elaboración de los planos de la disposición de la cámara de máquinas. Se realizarán los planos de la vista en planta de cada nivel donde se dispongan equipos, tanques, talleres, pañoles, etc., empezando por el techo de tanques y siguiendo hacia arriba, y una sección longitudinal. Finalmente, se realizará una tabla resumen de los equipos en la cámara de máquinas con sus características principales y marcas.

La disposición de la cámara de máquinas debe ser tal que además de garantizar una disposición funcional de los componentes, garantice una buena accesibilidad de los componentes para el servicio sin ningún problema siempre que sean necesarios: la limpieza del haz de tubos del enfriador, el vaciado de las cámaras del filtro y la posterior limpieza de sus elementos, y el vaciado y la limpieza de los tanques. Todas las aberturas para la limpieza de toda la unidad, incluidas las de los silenciadores de escape, deben ser accesibles.

Un punto muy importante es que debe haber suficiente espacio para almacenar y manejar piezas de repuesto vitales para que se puedan hacer reemplazos sin pérdida de tiempo. Debe haber suficiente espacio libre para el almacenamiento temporal de pistones, árboles de levas, turbocompresores, etc. desmontados del motor, al mismo tiempo que sigue habiendo espacio para el personal de mantenimiento. Los paneles en los lados del motor para la inspección de los cojinetes y la extracción de componentes deben ser accesibles sin tener que levantar las placas del piso o desconectar las líneas de suministro y las tuberías. Se debe proporcionar espacio libre para la instalación de un medidor de vibraciones torsionales en el extremo del cigüeñal.

- Dibujo de la instalación



- Dimensiones necesarias para la extracción del pistón y la camisa del cilindro.

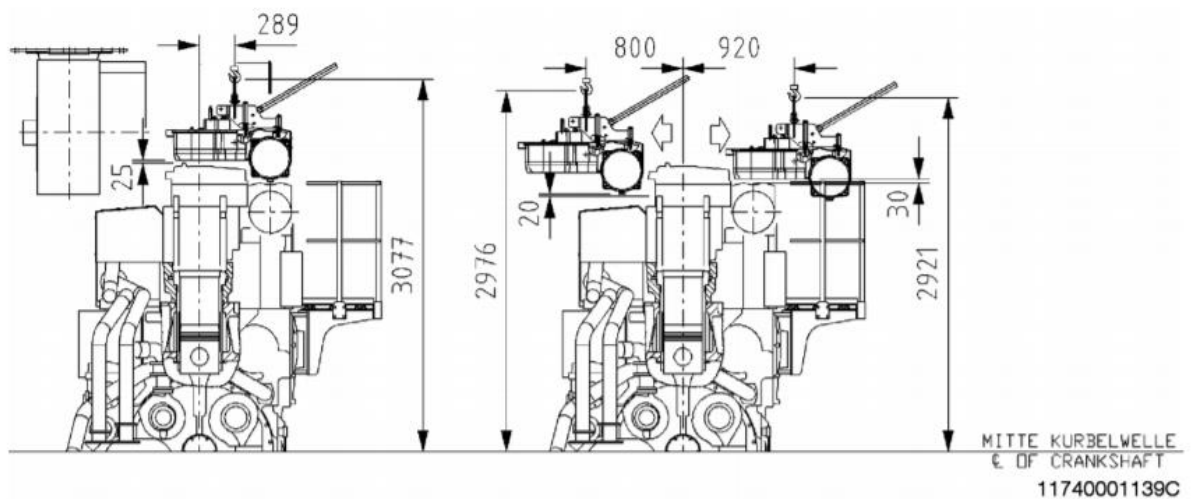


Figure 71: Lifting off the rocker arm casing MAN L32/44

2,921	When carrying the parts to counter exhaust side
2,976	When carrying the parts to exhaust side
3,077	When carrying the parts away along the engine axis over the cylinder heads

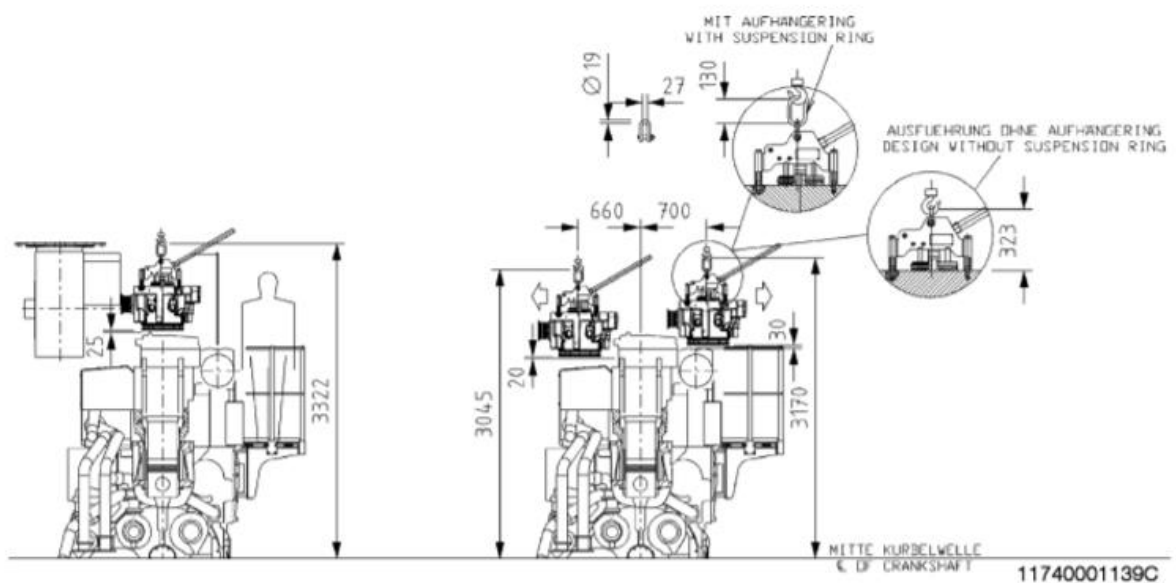


Figure 72: Lifting off the cylinder head MAN L32/44

3,045	When carrying the parts to exhaust side
3,170	When carrying the parts to counter exhaust side
3,322	When carrying the parts away along the engine axis over the cylinder heads

Figura 56: Instalación motor diésel. Project Guide.

Tras observar estas imágenes, se puede concluir que con una altura entre 3.045 y 3.322 m sobre el eje del cigüeñal es suficiente para ser capaz de retirar el pistón y la camisa del cilindro.

- Dispositivos de elevación

La pieza de mayor peso es el pistón con un peso de 530 kg, por lo que se debe disponer de una grúa capaz de elevar al peso ese peso para garantizar el servicio de mantenimiento. Los rieles para la grúa deben estar dispuestos de tal manera que la grúa pueda cubrir todo el motor comenzando en el tubo de escape. La posición del gancho debe alcanzar el eje del motor, más allá de la línea central del primer y el último cilindro, de modo que las válvulas se puedan desmontar e instalar sin tirar en ángulo. Del mismo modo, la grúa debe poder alcanzar los extremos del motor. Hay una velocidad de elevación de dos etapas: elevación de precisión aproximadamente 0.5 m / min y elevación normal aproximadamente entre 2 y 4 m / min.

Al planificar la disposición de la grúa, se debe proporcionar un espacio de almacenamiento en la sala de máquinas para los componentes del motor desmontados a los que puede llegar la grúa.

Las medidas del turbocompresor son las siguientes:

Turbocharger dimensions

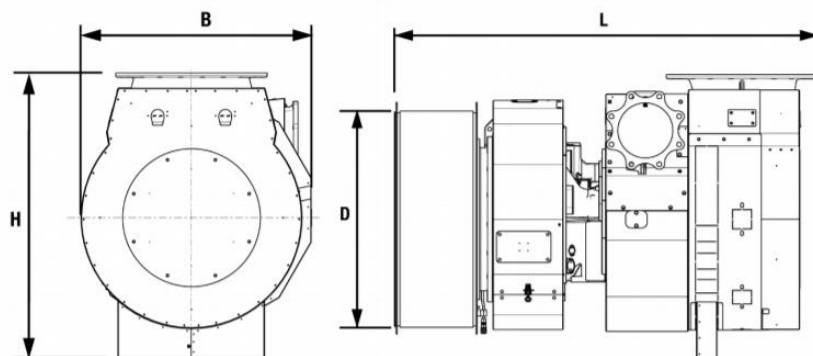


Figure 73: Exemplary illustration of TCR

Turbocharger type	L with silencer [mm]	L with air intake bend [mm]	L with air intake pipe [mm]	H [mm]	B [mm]	D [mm]
TCR20	1,662	1,713	1,307	970	852	834
TCR22	1,990	2,234	1,691	1,320	1,068	996

Table 123: Dimensions – TCR20, TCR22

Turbocharger		TCR20	TCR22
Compressor casing	kg	126	289
Gas admission casing 1-channel		107	234
Gas admission casing 2-channel		154	330
Silencer		76	301
Cartridge		179	385
Turbine rotor		49	95
Bearing casing		129	290
Overall weight of turbocharger		587	1,044
Space for removal of silencer	mm	130	150

Table 124: Hoisting rail of radial turbocharger

Figura 57 :Turbocompresor. Project Guide.

Como se aprecia en la tabla 124 se necesitan 130mm para ser capaz de extraer el silenciador o separarlo del turbocompresor. El silenciador debe desplazarse axialmente por esta distancia antes de que pueda moverse lateralmente. Además de esta medida, se requieren otros 100 mm para el espacio libre del conjunto. Esta es la distancia mínima entre el silenciador y el mamparo o la plataforma de interpolación. Se añaden otros 300mm como espacio de trabajo.

El aire de combustión del motor debe suministrarse hacia el silenciador de admisión en un conducto que termina en un punto a 1,5 m de la entrada del silenciador. Si este conducto impide las operaciones de mantenimiento, por ejemplo, la extracción del silenciador, la sección final del conducto debe ser extraíble. Se deben proporcionar orejetas de suspensión adecuadas en la cubierta y el conducto.

Para limpiar el enfriador de aire de carga, debe ser posible levantarlo verticalmente de la carcasa del enfriador y colocarlo en un baño de limpieza. Para levantar y transportar el paquete, se debe proporcionar un riel de elevación que corre en dirección transversal o longitudinal al motor (según el lugar de almacenamiento disponible), sobre la línea central del enfriador de aire de carga, desde el cual un carro con aparejo de elevación Puede ser suspendido.

- Espacio necesario para mantenimiento

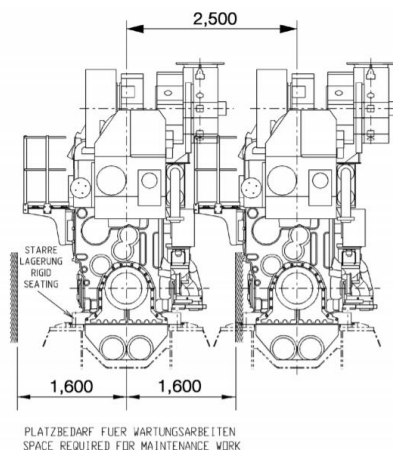


Figure 75: Space requirement for maintenance

Figura 58: Espacio entre motores. Project Guide.

Los planos de la disposición se pueden encontrar en el Documento Planos.

9 LISTA DE EQUIPOS

Anexo X/Cuaderno 10: Definición de la planta propulsora y sus auxiliares

Lucía Barreiro Varela

GRUPO	DISPOSICIÓN				SELECCIÓN			FLUJO				POTENCIA MECÁNICA		POTENCIA ELÉCTRICA	
	SERVICIO	NUMERO	ELEMENTO	CANTIDAD	CLASE	TIPO	MARCA Y MODELO	CAUDAL (m³/h)	ALTURA ELEVACIÓN	FLUIDO	DENSIDAD (kg/m³)	RENDIMIENTO MECÁNICO	POTENCIA MECÁNICA (kW)	RENDIMIENTO ELÉCTRICO	POTENCIA ELÉCTRICA UNITARIA (kwe)
PROPULSION y GENERACION	1. 1. PROPULSION	1	Motor propulsor	2	Motor AC	Síncrono	Azipod CO1400 4500kW 250 rpm	--	--	--	--	--	4500	0,97	4639,18
	1.2 GENERACION	2	Grupo generador	4	Grupo generador	Diesel AC 50Hz	MAN 6L32/44CR GENSET 3600kW 750 rpm	--	--	--	--	--	--	--	--
AUXILIARES DE LA PROPULSION	2. REFRIGERACION	3	Bomba agua salada	4	Bomba	Centrifuga	ITUR IN 80/160B	210	30	AGUA SALADA	1026	0,65	27,09823846	0,9	30,1
		4	Bomba agua dulce HT	4	Bomba	Centrifuga	ITUR IN 40/160B	42	38	AGUA DULCE	1000	0,6	7,25	--	--
		5	Bomba agua dulce LT	4	Bomba	Centrifuga	ITUR IN 50/200A	132	40	AGUA DULCE	1000	0,6	24,0	0,9	26,64
		6	Bomba precalent.	4	Bomba	Centrifuga	ITUR IN 32/125A	12	30	AGUA DULCE	1000	0,6	1,6	0,9	1,82
		7	Enfriador principal	2	Enfriador	Intercambiador agua salada/agua dulce	--	210	--	AGUA DULCE	1000	--	--	--	--
		8	Precalentador	4	Calentador	Eléctrico	--	7,2	--	AGUA DULCE	1000	--	18	--	--
	3. LUBRICACION	9	Bomba lubricación	4	Bomba	Engranajes	200-2 ALLMARINE MELO ALLWHEELER	120	70	ACEITE LUBRICANTE	900	0,8	25,8	--	--
		10	Bomba prelubricación	4	Bomba	Engranajes	--	27,3	35	ACEITE LUBRICANTE	900	0,8	2,9	--	8,00
		11	Separador de aceite	4	Separador	Centrifuga	MAB 103 Alfa Laval	0,818	--	ACEITE LUBRICANTE	900	--	--	--	0,75
		12	Precalentador lubricación	4	Calentador	Eléctrico	--	0,818	--	ACEITE LUBRICANTE	900	1	71,61	--	--
		13	Enfriador de aceite	4	Enfriador	Intercambiador aceite/agua dulce	--	105	--	ACEITE LUBRICANTE	900	--	--	--	--
		14	Bomba de trasiego de aceite lubricante	4	Bomba	Engranajes	RC-1 1/2 ITUR	7	40	ACEITE LUBRICANTE	900	0,8	0,9	--	2
	4. COMBUSTIBLE	15	Bomba suministro MDO	4	Bomba	Engranajes	RC-1 1/2 ITUR	4,85	100	MDO	877	--	4,0	0,9	4,4
		16	Bomba trasiego MDO	2	Bomba	Engranajes	RC-3R ITUR	41,16	70	MDO	877	--	18,0	0,9	20,00
		17	Separador de combustible diésel	2	Separador	Centrifuga	MMB 304 Alfa Laval	3	--	MDO	877	--	--	--	1,40
		18	Bomba alimentación separador diésel	2	Bomba	Engranajes	RC-1 ITUR	3	80	MDO	877	--	1,5	0,9	1,67
		19	Precalentador del separador de combustible	2	Calentador	--	--	3	--	MDO	877	1	19	--	--
	5. AIRE COMPRIMIDO	20	Compresor de aire de arranque	2	Compresor	Alternativo	PASSAT WP 345L Marine Sauer	43,2	300	Aire	--	--	--	--	9,6
		21	Botella aire de arranque	4	Botella	2,25 m³/3	--	--	300	Aire	--	--	--	--	--
	6. VENTILACIÓN CÁMARA DEMÁQUINAS	22	Ventilador CM	4	Ventilador	Axial	A-AXITUB SOLID 6-1250T 40-12 Novovent	91980	0,02	AIRE	1013	--	--	--	18,5
		23	Extractor CM	4	Ventilador	Axial	A-AXITUB SOLID 6-1250T 30-6 Novovent	71700	0,02	AIRE	1013	--	--	--	5,5

ANEXO X.I: CATÁLOGOS COMERCIALES

1 General

The first original Azipod® installation onboard was commissioned in 1990. By November 2010, the milestone of 5.8 million cumulated operating machinery hours has been reached. This is the total figure obtained with the various product variants of which the Azipod CO is one particular application.

1.1 Azipod propulsion and steering

The Azipod CO main propulsion and steering system was originally developed with the experiences gained from the already existing family of larger Azipod products. Azipod is a podded electric main propulsion and steering device driving a fixed-pitch propeller at a variable speed setting.

Azipod CO propulsion is designed for the preferential use of the (directly driven) pulling propeller when driving in the ahead direction. Azipod CO is azimuthing (steering around its vertical axis) infinitely by 360° and is available in three different frame sizes for propeller power ratings of up to 4,5 MW.

The full ship system consists of the required number of Azipod CO steering propulsors, plus the delivery of an “ACS” series marine Propulsion Power Drive per each Azipod. Additionally propulsion supply transformers (if needed), and the power plant (generators, switchboards) are usually included in the scope of the delivery.

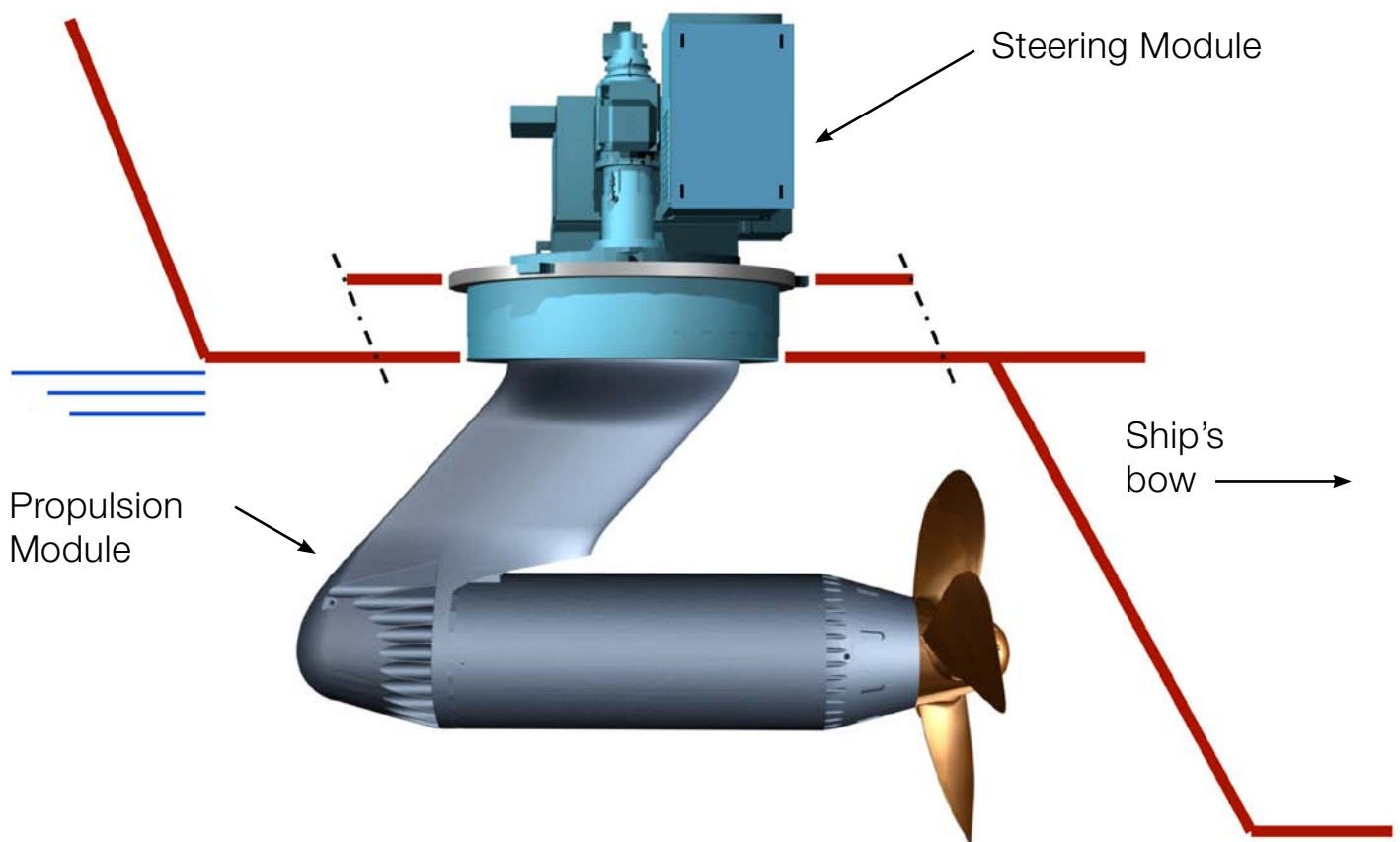
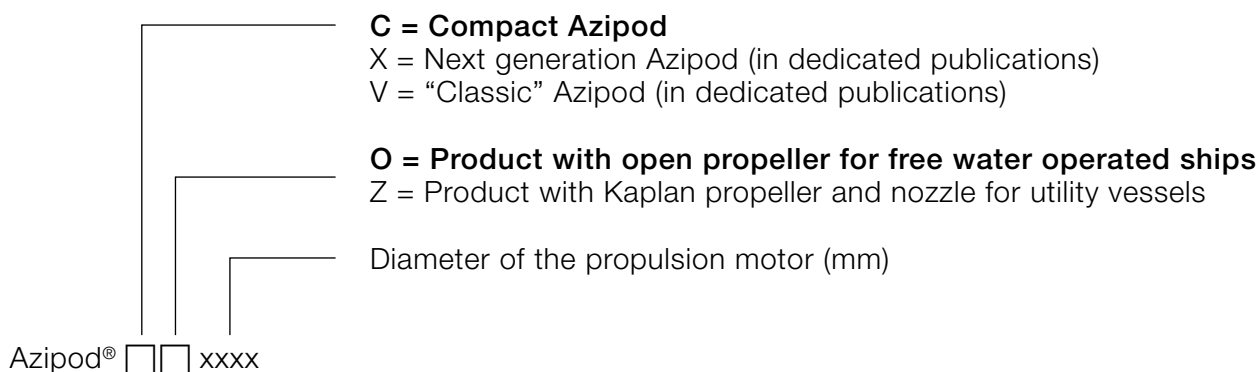


Figure 1-1 Basic arrangement of the Azipod CO

1.2 Type designation for the Azipod product

In the ship concept design stage, the following main designation is used. (A more specific type code will be allocated for the product during the advanced design stage).



1.3 Propeller output ratings per frame size

The darkened area on each of the three frame sizes is the recommended standard applied level for maximum rated propeller power:

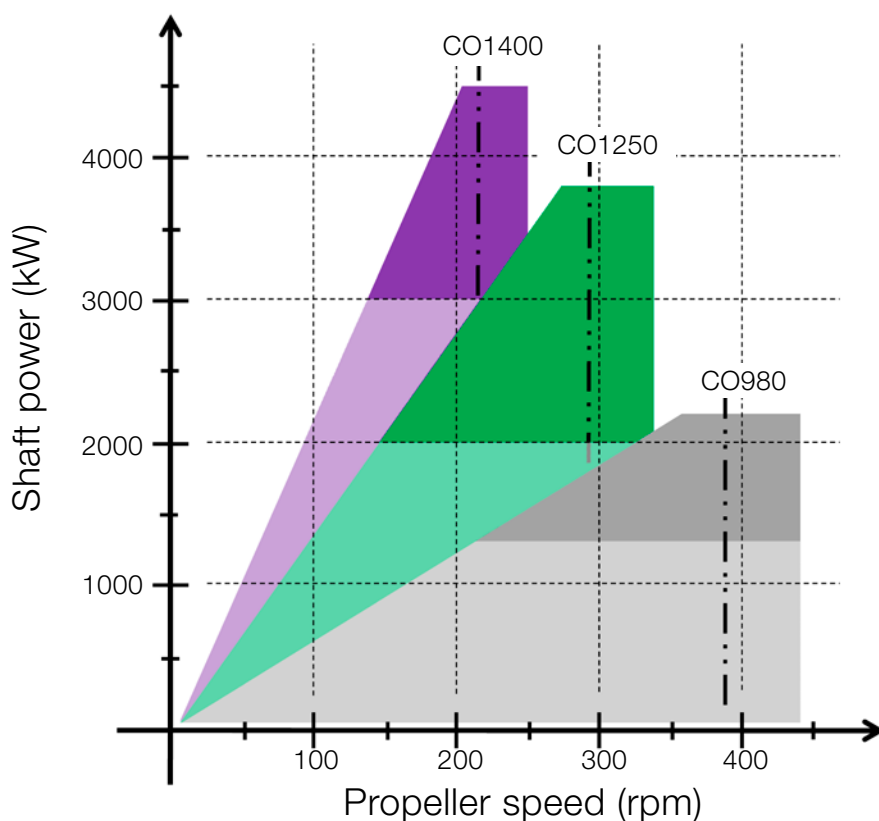


Figure 1-2 Output power in function of the RPM range

1.4 Electric propulsion and power plant

In order to drive the Azipod propulsion system the ship needs an electric power plant (not specifically presented on this document). Alternator sets supply power to the 50 or 60 Hz installation of electric switchboards for distribution to all consumers onboard, including Azipod propulsion.

Generally, ABB would aim to deliver the power plant as well as the Azipod system. Our mechanical interface to the engine maker is basically standard, although dependant on the delivery of engines or e.g. gas turbines from the contractors.

During the whole project the basic tool for power plant design is the so-called single line diagram. The actual onboard configuration can be efficiently discussed already in the early stages of work by using this clear visual representation.

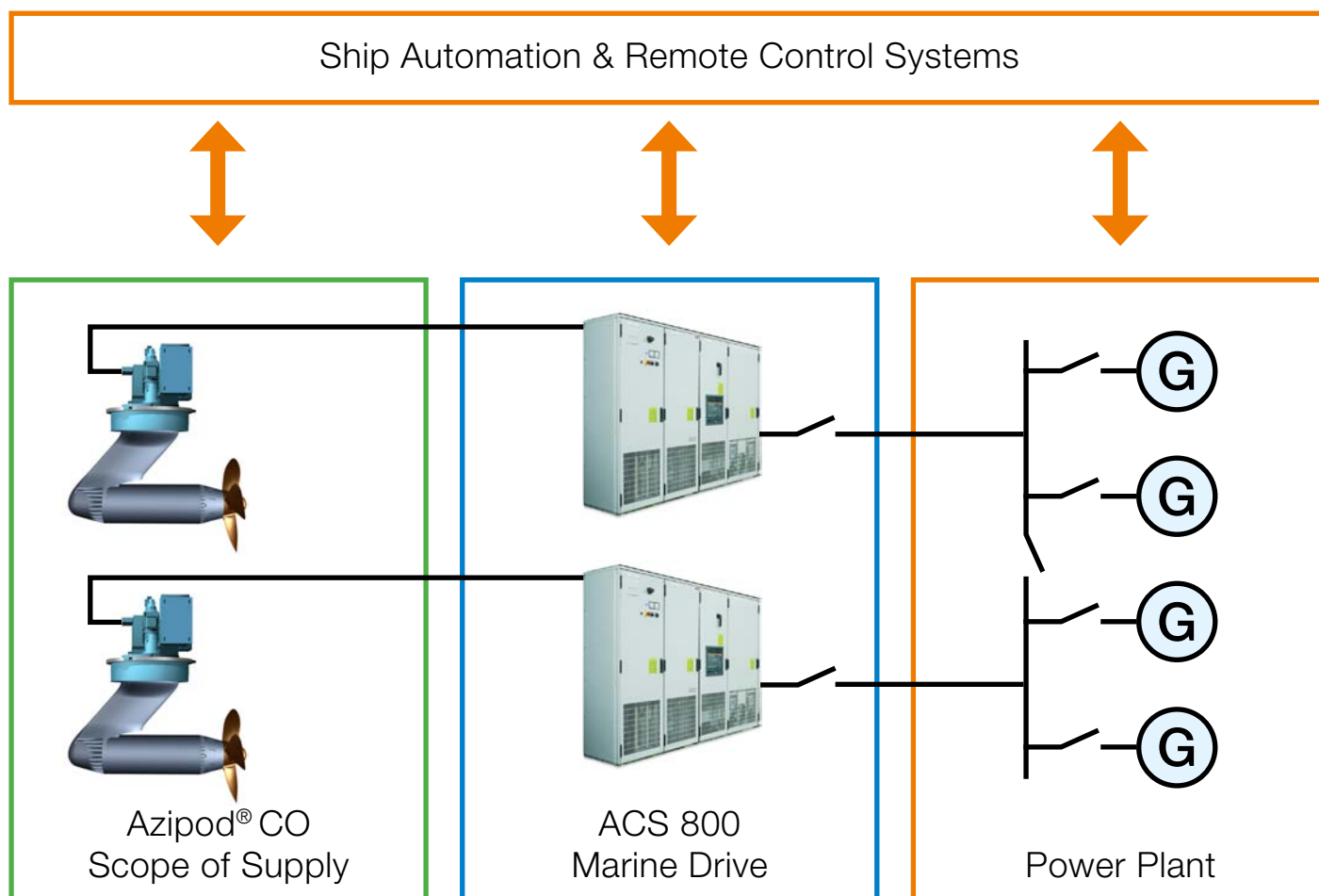


Figure 1-3 Simplified single line diagram of the power plant with a propulsion system.

1.5 Steering angle convention

The traditional ship steering convention of **PORT** (signal Red) and **STARBOARD** (signal Green) is used. Therefore, two main ship control configurations are to be considered:

A. Ahead going ships

B. Astern going ships

The steering equipment on double-ended ships (e.g. river ferries) usually needs to be outfitted as an appropriately configured combination of these two cases.

NOTE: The terms Port and Starboard refer to ship steering. The angle indicator instrument will show the actual rotational direction of the Azipod.

(Example of STARBOARD turn)

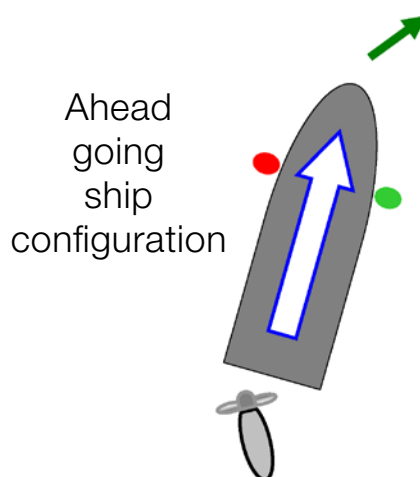
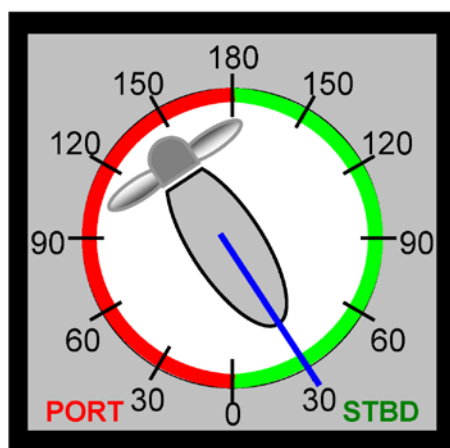


Figure 1-4
“Ahead sailing” concept:
rear pointer helm angle
indication

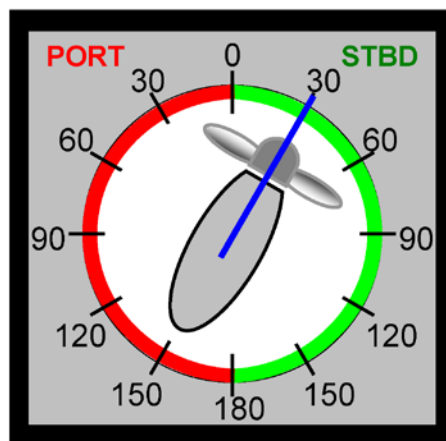
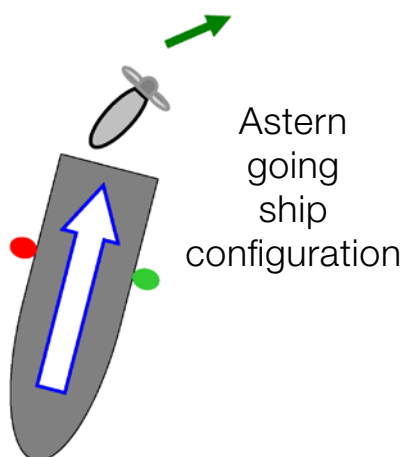


Figure 1-5
“Astern sailing” concept:
front pointer helm angle
indication

ABB industrial drives



Wall-mounted drives, ACS800-01

The wall-mounted drive, ACS800-01 offers all that you need up to 200 kW. All important features and options are built inside the drive: line choke, EMC filter, brake chopper etc. The user gets everything in a single and complete IP21 or IP55 package. Still the drive is also extremely small. A wide range of software alternatives makes this drive suitable for any application.

Wall-mounted drives, ACS800-01 for marine applications

The type approved ACS800-01 marine drive provides advanced reliability and availability at sea. The drive fulfils marine and offshore requirements, and the design and operation have been tested according to marine type approval requirements. The ACS800-01 has marine type approvals from ABS, BV, DNV, GL, Lloyd's, and RINA.

Wall-mounted regenerative drives, ACS800-11

The wall-mounted regenerative drive, ACS800-11 is equipped with active supply unit. It offers a full performance regenerative drive in a single compact package. All important features and options including an LCL line filter and EMC filter are built inside the drive. The power ratings start from 5.5 kW and go up to 110 kW. It is available with IP21 protection degree.



ACS800-01,
IP21 construction



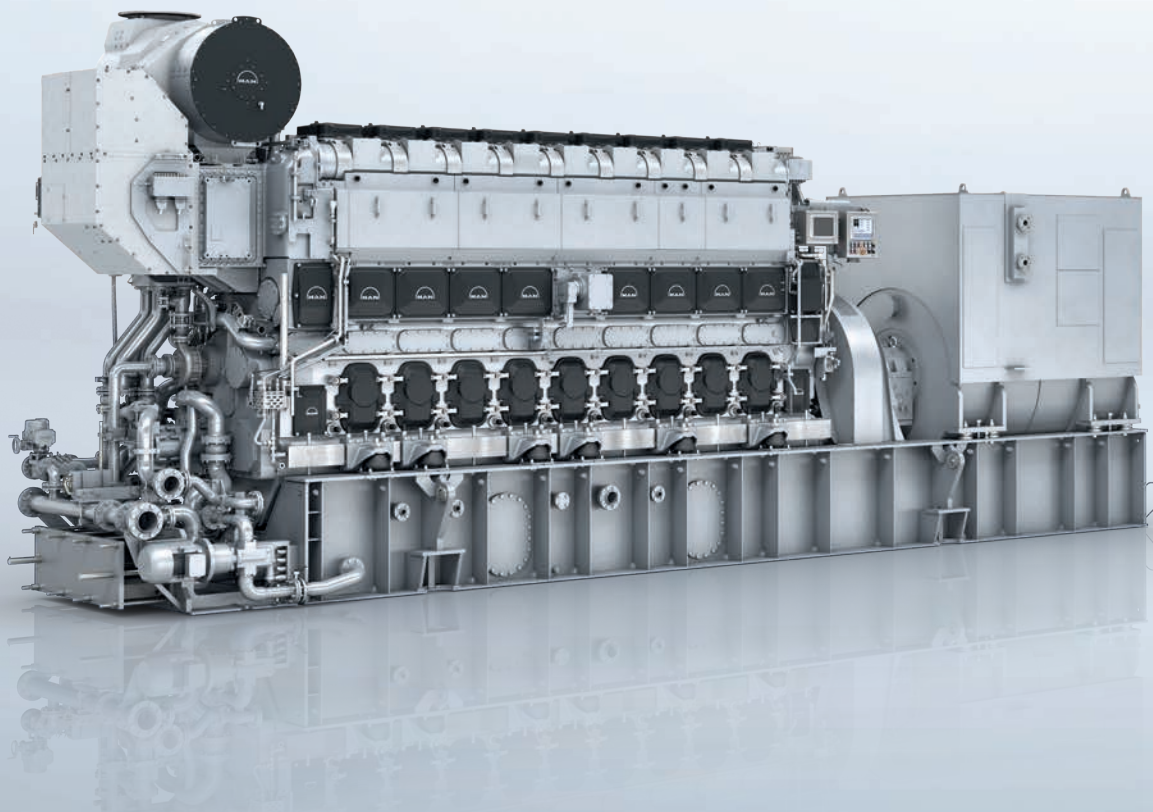
ACS800-01, IP55 construction



ACS800-11

MAN L32/44CR

GENSET



The MAN 32/44CR engine represents the newest technologies in the area of medium speed marine diesel engines. By the use of electronic injection, high efficiency turbochargers, electronic hardware, and variable valve timing the MAN 32/44CR is a synthesis of the most advanced large engine technologies available.

Benefits at a glance

- High efficiency
- High specific power output
- Low emissions
- Low operating and life cycle costs
- Long maintenance intervals and service life
- High reliability

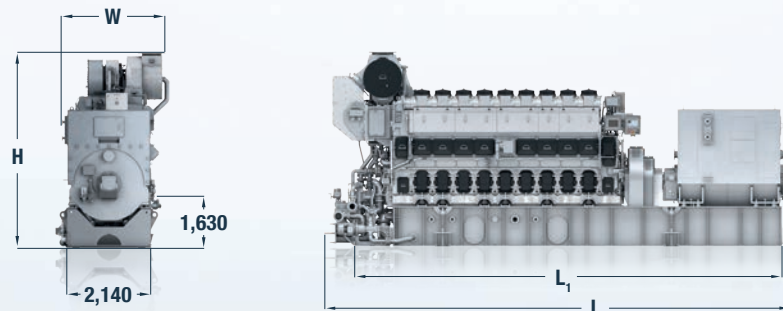
Engineering the Future – since 1758.

MAN Diesel & Turbo



MAN L32/44CR

GENSET



Dimensions

Cyl. No.	6	7	8	9	10	
L	10,738	11,268	11,798	12,328	12,858	mm
L ₁	10,150	10,693	11,236	11,779	12,309	mm
W	2,490	2,490	2,573	2,573	2,573	mm
H	4,768	4,768	4,955	4,955	4,955	mm
Dry mass	71	78	84	91	97	t

Output

Speed	750	750	720	720	rpm
Frequency	50	50	60	60	Hz
	Eng.	Gen.*	Eng.	Gen.*	
MAN 6L32/44CR	3,600	3,474	3,600	3,474	kW
MAN 7L32/44CR**	4,060	3,918	4,060	3,918	kW
MAN 8L32/44CR	4,800	4,632	4,800	4,632	kW
MAN 9L32/44CR	5,400	5,211	5,400	5,211	kW
MAN 10L32/44CR	6,000	5,790	6,000	5,790	kW

*Based on nominal generator efficiencies of 96.5 %

**580 kW/cyl

Last Updated January 2018

General

- Engine cycle: Four-Stroke
- No. of cylinders: 6, 7, 8, 9, 10
- Bore: 320 mm – Stroke: 440 mm
- Swept volume per cyl: 35.4 dm³

Fuel consumption at 85 % MCR*

- SFOC: 172 g/kWh
- SFOC (7 cyl.): 173 g/kWh, 580 kW

Cylinder output (MCR)

- At 750/720 rpm: 600 kW
- At 750/720 rpm: 580 kW (7 cyl.)
- Power-to-weight ratio: 16.2 – 19.7 kg/kW

Compliance with emission regulations*

- IMO Tier II
- IMO Tier III (with MAN SCR)
- EPA Tier 2

Main features

- Turbocharging system**
High efficiency constant pressure MAN TCR series exhaust turbocharging system

MCR = Maximum Continuous Rating | SCR = Selective Catalytic Reduction | SFOC = Specific Fuel Oil Consumption

*According to IMO E2 test cycle

- Engine automation and control**
MAN in-house developed engine attached Safety and Control System **SaCoS_{One}**
- Fuel system**
Advanced MAN electronic Common Rail injection system
- Lube oil system**
Attached lube oil automatic filter
- Cooling system**
2-string high and low temperature cooling water systems
- Starting system**
Pressurized air starter (turbine type)
- Engine mounting**
Direct resilient mounting of the engine on the foundation frame (cone elements)

Optional equipment

- ECOMAP concept – using of different IMO Tier II-compliant injection maps to improve fuel economy
- Frame Auxiliary Box (FAB) attached at engine free end available

MAN Diesel & Turbo, 86224 Augsburg, Germany

Phone +49 821 322 0, Fax +49 821 322 3382

info@mandieselturbo.com, www.marine.mandieselturbo.com

■ DESCRIPCION

La nueva serie normalizada **IN** de bombas centrífugas, monocelulares horizontales, de aspiración axial e impulsión radial, construidas según norma **DIN-24255**, surge como resultado de las últimas innovaciones hidráulicas y tecnológicas aplicadas al diseño y la fabricación de la muy experimentada y reconocida serie Norma de **Bombas ITUR**. Preparadas para cubrir una amplia variedad de necesidades de bombeo, aportan soluciones y mejoras con:

- Elevados rendimientos.
- Robustez de diseño.
- Variedad de materiales en función del fluido bombeado.
- Sellado por cierre mecánico o empaquetadura.
- Rodamientos ampliamente dimensionados.
- Piezas normalizadas con alto grado de intercambiabilidad.
- Mínimo y ágil mantenimiento.

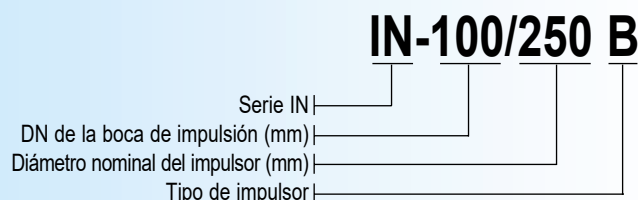
Aunque su accionamiento habitual es por motor eléctrico, pueden utilizarse otros accionamientos (diesel, turbina de vapor, motor hidráulico, ...).

■ APLICACIONES

La **Serie IN** de **Bombas ITUR** ha sido especialmente concebida para el bombeo de fluidos, generalmente limpios o poco cargados. El campo de aplicación de la serie se extiende a todas las necesidades de bombeo para requerimientos de servicios medios:

- Abastecimiento municipal o industrial de aguas
- Sistemas de conducción de agua y de aceite
- Suministro de agua caliente a grandes edificios
- Instalaciones de climatización
- Equipos de agua a presión constante
- Equipos de protección contra incendios
- Regadíos

■ DENOMINACION DE LA BOMBA



■ AMPLITUD DE LA SERIE

La **Serie IN** según norma DIN-24 255 comprende un total de 47 modelos diferentes, basados en 34 tamaños, donde cada tamaño admite uno o dos tipos de impulsores (A ó B).

Limites de servicio

- Caudal máximo: 600 m³/h
- Altura diferencial máxima 105 m.c.a.
- Presión máxima en carcasa (a 20 °C) ... 10 Kg/cm²
- Presión máxima en aspiración 5 Kg/cm²
- Velocidad máxima 3.600 rpm
- Temperatura máxima 140 °C
- Viscosidad máxima 20 cSt (2,9 °E)

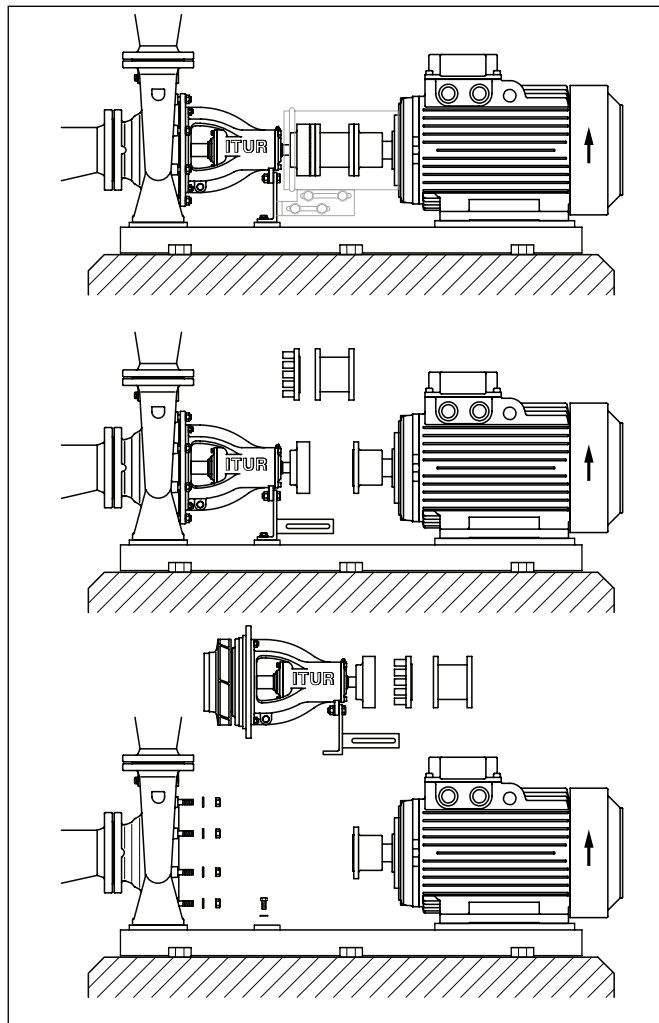
Nota.-Bajo consulta se pueden sobrepasar algunos de los límites de la construcción estándar. Para caudales de hasta 1.600 m³/h existen 13 modelos superiores. (Ver catálogo **Serie IN -tamaños complementarios**).

■ FACILIDAD DE MANTENIMIENTO

El suministro estándar del grupo electrobomba comprende el acoplamiento semielástico normal. Bajo demanda se puede servir dicho acoplamiento con espaciador. La utilización del acoplamiento semielástico con espaciador, permite acceder al interior de la bomba de una manera ágil y sin necesidad de soltar las tuberías ni el motor.

Soltando el espaciador, se desmonta el conjunto formado por el soporte, tapa e impulsor, quedando el cuerpo de bomba y el motor siempre fijos a la bancada. Las tuberías de aspiración e impulsión permanecen embridadas.

De esta manera se facilitan las labores de mantenimiento, resultando especialmente útil cuando se trata de una instalación fija con varias bombas.



■ CONSTRUCCION

Cuerpo de bomba

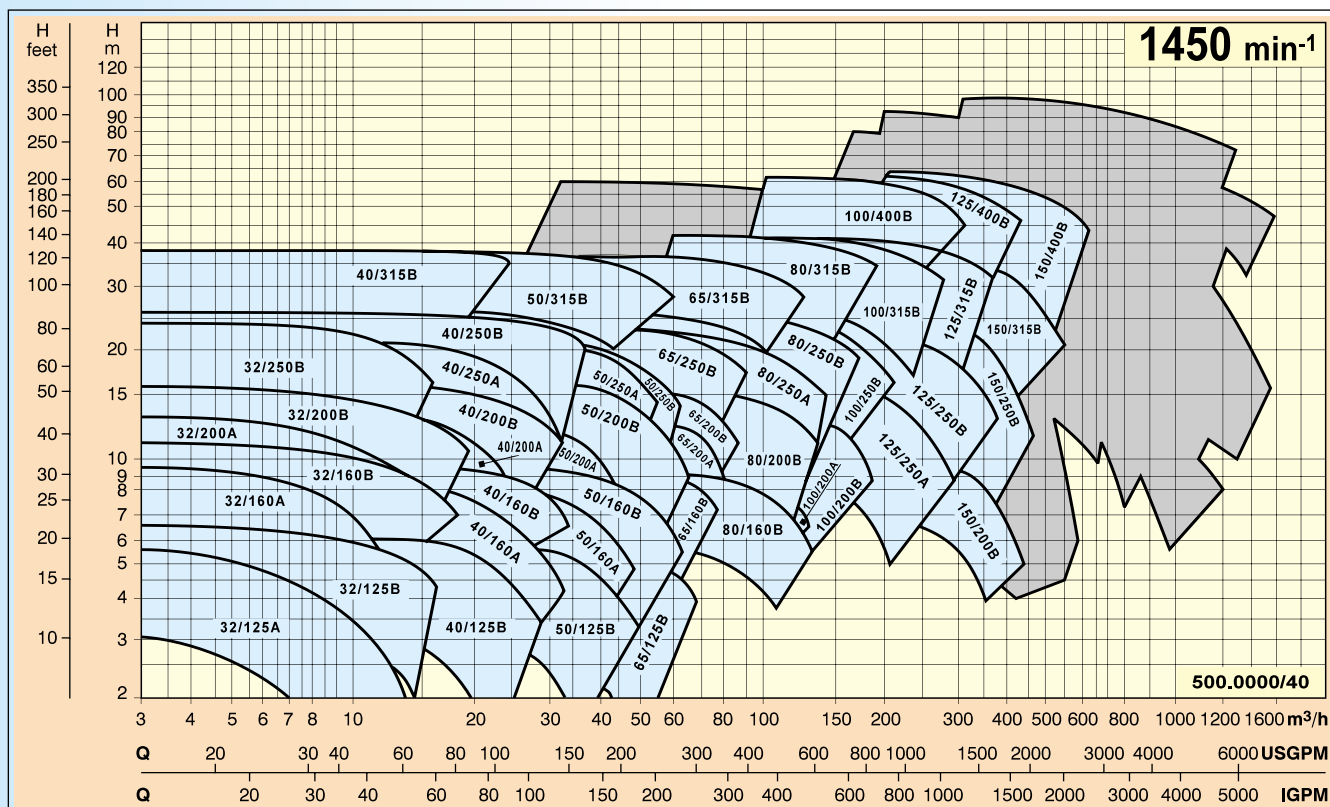
De voluta con patas de apoyo, contiene las bridas de aspiración (axial) e impulsión (radial hacia arriba), e incorpora anillo de desgaste. La estanqueidad en la unión del cuerpo con la tapa se realiza mediante junta encastrada.

Bridas de aspiración e impulsión

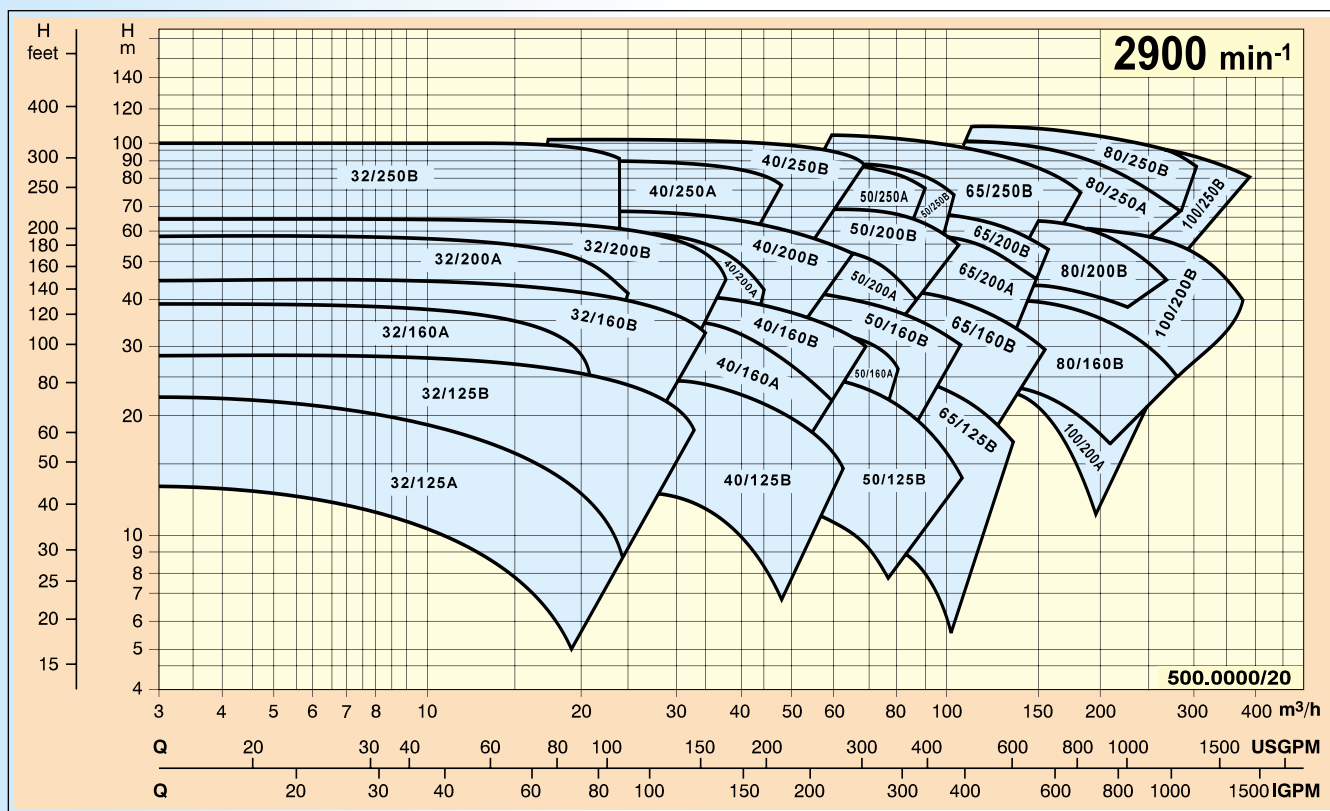
Fundidas conjuntamente con el cuerpo, construidas según norma DIN-2501, acabado con resalte "RF" según DIN2526 forma C. Válidas para conectar a bridas comerciales DIN PN10.

■ DIAGRAMAS DE SELECCION

Estos diagramas permiten una selección rápida del tipo de bomba más adecuado. Habrá ocasiones en que una vez seleccionada una bomba, será posible encontrar también otro modelo que satisfaga las condiciones de trabajo con mejores rendimientos o menor NPSH requerido. En estos casos, la selección final se hará en base a las curvas particulares de cada bomba.



Extensión de la gama.
Tamaños complementarios.



DIMENSIONES DEL GRUPO ELECTROBOMBA CON BANCADAS NORMALIZADAS ITUR

Tamaño bomba IN-	Dimensiones en mm																																			
	Bridas		Cotas de conjunto						Altura -h ₃ - y tipo de bancada normalizada, en función del tamaño de motor (I.E.C.)																											
	DNd	DNs	a	f	h ₁	h ₂	L _s	x	80M	90S	90L	100L	112M	132S	132M	160M	160L	180M	180L	200L	225S	225M	250M	280S	280M	315S	315M									
32/125	32	50	80	360	112	140	60	3	177	177	177	177	177																							
	Bancada nº 75-								210/3				270/5																							
32/160	32	50	80	360	132	160	60	3	197	197	197	197	197	197																						
32/200	32	50	80	360	160	180	60	3	225	225	225	225	225	225		225																				
40/125	40	65	80	360	112	140	60	3	177	177	177	177	177	197																						
40/160	40	65	80	360	132	160	60	3	197	197	197	197	197	197		225																				
50/125	50	65	100	360	132	160	60	3	197	197	197	197	197	197		225																				
	Bancada nº 75-								270/5				300/1				380																			
32/250	32	50	100	360	180	225	75	3		245	245	245		245		245	245																			
40/250	40	65	100	360	180	225	75	3		245	245	245	245	245		245	245	245		300																
50/250	50	65	100	360	180	225	75	3			245	245	245	245		245	245	245		300			325													
65/125	65	80	100	360	160	180	75	3	225	225	225	225	225	225		225																				
65/160	65	80	100	360	160	200	75	3	225	225	225	225		225		225	225	225																		
65/200	65	80	100	360	180	225	75	3		245	245	245	245	245		245	245	245		300			325													
80/160	80	100	125	360	180	225	75	3			245	245	245			245	245	245		300																
	Bancada nº 75-								350				350/1				380				430/4				530/1											
40/200	40	65	100	360	160	180	60	3	225	225	225	225	225	225		225	225	245																		
50/160	50	65	100	360	160	180	60	3	225	225	225	225	225	225		225	225																			
50/200	50	65	100	360	200	180	60	3	225	225	225	225	225	225		225	225	245		300																
	Bancada nº 75-								350				300/1				380				430/4															
40/315	40	65	125	470	225	250	75	3				290	290	290																						
50/315	50	65	125	470	225	280	75	3				290	290	290	290																					
65/250	65	80	100	470	200	250	90	3				265	265	265	265			300		300			325	350	(*)											
80/200	80	100	125	470	180	250	75	3				245	245	245	245	280		280		300			325	350	(*)											
100/200	100	125	125	470	200	280	90	3				265	265	265	265	265	300	300	300		300		325	350	(*)											
	Bancada nº 75-												380				380/6				430/2				530/1				530/2		[120]					
60/315	65	80	125	470	225	280	90	3						325	325	325	325	325	325																	
80/250	80	100	125	470	200	280	90	3					300	300	300	300	300	300		300			325	350	(*)	(*)	(*)									
80/315	80	100	125	470	250	315	90	3							350	350	350	350	350	350																
100/250	100	125	140	470	225	280	90	3					325	325	325	325		325	325			325	350	(*)	(*)	(*)	(*)									
100/315	100	125	140	470	250	315	90	3								350	350	350	350	350		350	350													
125/250	125	150	140	470	250	355	90	3				350	350	350	350	350	350	350	350	350																
	Bancada nº 75-												430/3				430/4				430/2				530/1				530/2		[120]		[160]			
100/400	100	125	140	530	280	335	110	3									380	380	380	380	380	380	380	(*)												
125/315	125	150	140	530	280	335	110	3									380	380	380	380	380	380	380													
125/400	125	150	140	530	315	400	110	3										420	420	420	420	420	420	(*)	(*)											
	Bancada nº 75-																530/1				530/2				[120]											
150/200	150	200	160	470	280	370	110	3					380	380	380	380																				
150/250	150	200	160	475	280	400	110	3					380	380		380	380	380	380	380	380															
150/315	150	200	160	530	280	400	110	3								380	380	380	380		380	380	380	(*)												
150/400	150	200	160	530	315	450	110	3													420	420	(*)	(*)	(*)	(*)										
	Bancada nº 75-												580				580/3				580/1				[120]		[160]									

NOTA.- Bombas ITUR sigue una política de continuos avances en el desarrollo de modelos. Por esta razón las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

DIMENSIONES DE LAS BANCADAS NORMALIZADAS ITUR

Nº de bancada	Dimensiones en mm						
	b ₁	b ₂	L ₁	L ₂	L ₃	S	T
75-210/3	260	300	760	510	125	18Ø	6
75-270/5	320	360	770	520	125	18Ø	6
75-300/1	350	390	880	580	150	18Ø	6
75-350	400	440	750	500	125	18Ø	6
75-350/1	400	440	850	600	125	18Ø	6
75-380	430	470	1000	700	150	18Ø	6
75-380/6	430	470	1150	750	200	18Ø	30
75-430/2	480	520	1250	750	250	18Ø	30
75-430/3	480	520	1000	700	150	18Ø	30
75-430/4	480	520	1100	800	150	18Ø	30
75-530/1	580	620	1240	740	250	18Ø	30
75-530/2	580	620	1370	870	250	18Ø	30
75-580	630	670	1050	750	150	18Ø	30
75-580/1	630	670	1360	860	250	18Ø	30
75-580/3	630	670	1200	700	250	18Ø	30

Preheating unit

| APU

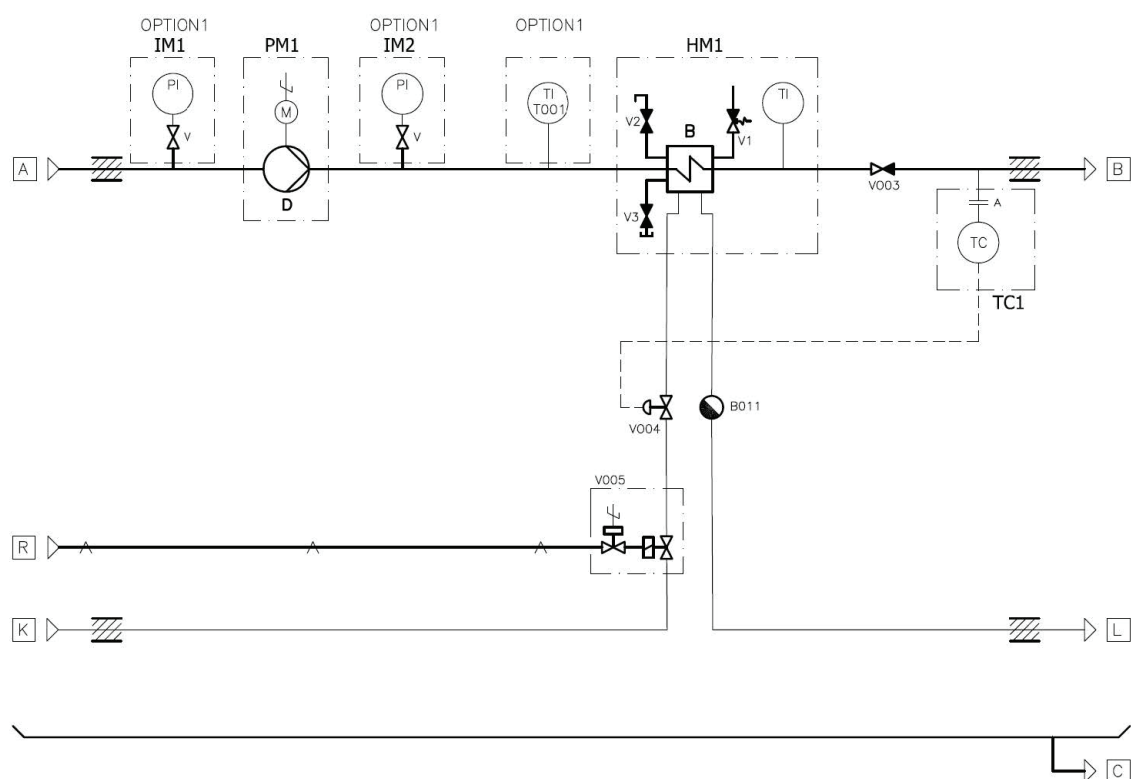


APU operating principle

The APU unit is designed to heat engine HT-water. The heating media of the heater (HM1B) can be steam or thermal oil. The APU unit is equipped with built on HT-water circulation pump (PM1), which provides flow of continuously heated water. The water temperature is kept constant by built-in self-actuating thermostatic controller (V004) located in the unit.

The APU unit can be controlled from a control cabinet mounted on the unit locally or remotely from another location. Additional pressure gauges and thermometer available as an option (Option 1).

P&I diagram of the Auramarine Preheating Unit (Steam version)



APU Product range - standard units

Order code	Type	Pump capacity (m³/h, @1 bar 400V 50Hz/440V 60Hz)	Heating power max (kW)	Max. steam consumption / Thermal oil flow	Heating media (S=Steam, T=Thermal oil)
CG200030	APU-M-12-54-S	12	54	91 kg/h	S
CG200031	APU-M-29-144-S	29	114	254 kg/h	S
CG200032	APU-M-42-252-S	42	252	443 kg/h*	S
CG200033	APU-M-12-54-T	12	54	5.5 m³/h	T
CG200034	APU-M-29-144-T	29	144	15.1 m³/h	T
CG200035	APU-M-42-252-T	42	252	23.8 m³/h	T

Technical data

Water outlet temperature	80°C (operating temperature set point)
Heating media	Steam (S) / Thermal oil (T)
Input voltage and frequency	400 V 50 Hz , 440 V 60 Hz , 690 V 50/60 Hz
Control voltage	230 VAC, internally transformed
Design pressure max	10 bar (water, steam and thermal oil side)
Design temperature max.	105°C (water), 180°C (steam) and 200°C (thermal oil)
Pressure head	0.8-1.0 bar
Required compressed air pressure	4-8 bar
Heat transfer capacity max.	54 / 144 / 252 kW
Pump capacity (1 bar, 400V 50 Hz, max)	12 / 29 / 42 m ³ /h

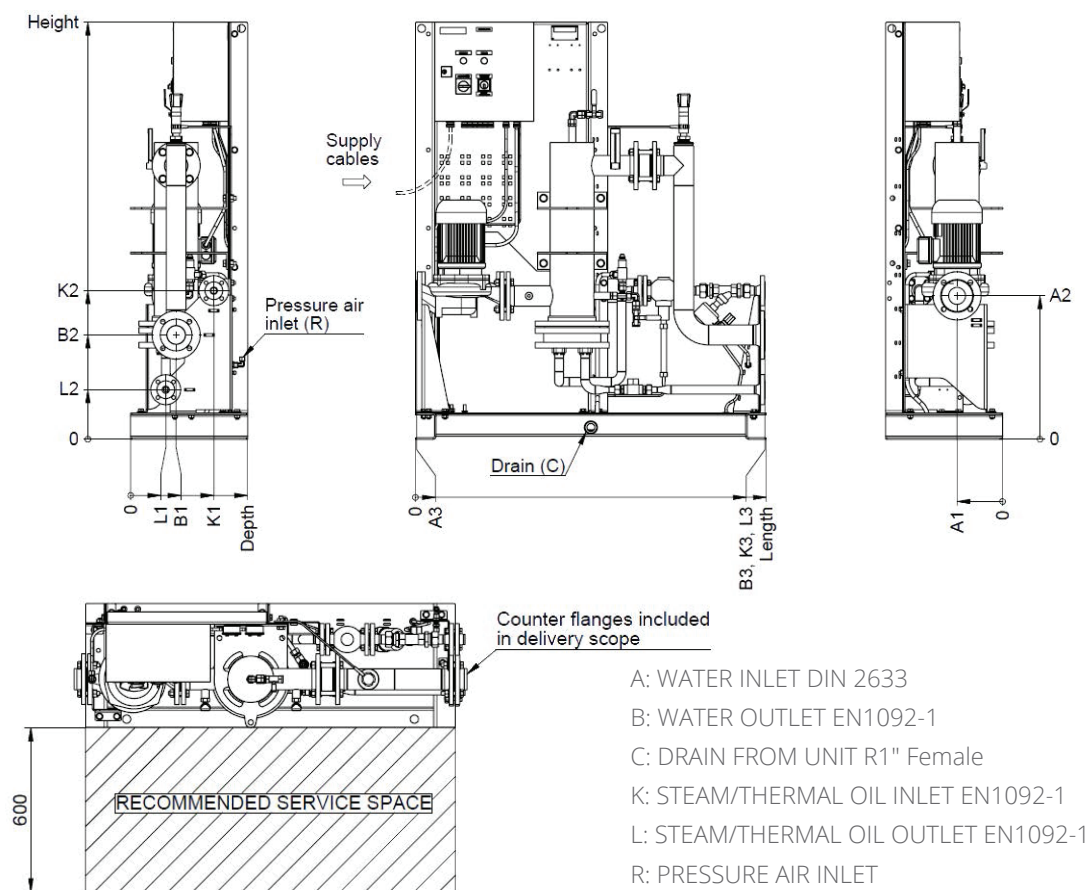
Main components

Position	Denomination
PM1	HT-Water preheating pump , for circulating HT-water via preheater at a lower engine load or when the engine is in stand-by mode.
HM1B	HT-water heater , heating media is steam / thermal oil
HM1V1	Safety valve , for heater protection
HM1V2	Vent valve , ball valve
HM1V3	Drain valve , ball valve
HM1TI	Thermometer , liquid pillar type, scale in °C
B011	Steam trap (only for steam versions)
V003	Non-return valve
V004	Temperature control valve : Self actuating thermostatic control valve, setting range :+40-105°C, set point +80°C
V005	Steam/Thermal oil shut off valve : Valve with electro pneumatic actuator. For closing the steam/thermal oil inlet when pump is stopped.
Option 1	
IM1PI, IM2PI	Pressure gauge- Ø 63 mm, glycerine filled, scale MPa+kPa/bar/psi
IM1V, IM2V	Hand valve
T001	Thermometer, liquid pillar type, scale in °C

Control panel materials, miscellaneous

Control panel	<ul style="list-style-type: none">• Main switch for supply voltage• HT-Water pump starter• On/Off/Remote switch for the pump• Control of steam/thermal oil shut off valve; valve closes when pump is stopped meanwhile the pump stops with short (adjustable) delay• Remote control possibility of the pump and shut off valve• Cable glands for in/out cabling are included
Frame	<ul style="list-style-type: none">• Bolted sheet metal construction• 1" threaded female connection at frame for draining of leakages
Painting system	<ul style="list-style-type: none">• ISO 12944-5; 2007 A2.06 EP120/2-FeSa2½ (frame and pipes)
Pipes	<ul style="list-style-type: none">• Seamless carbon steel P235GH, EN10217 or equal• Welding according to ISO 5817 C• Thermal oil/steam pipes and heater insulated with mineral wool
Connecting flanges	<ul style="list-style-type: none">• DIN2633 (HT-water inlet) and EN 1092-1 PN16/40, counter flanges, gaskets, bolts and nuts included
Valves	<ul style="list-style-type: none">• Globe and ball valves, nominal pressure class min. 16 bar
Name plates	<ul style="list-style-type: none">• English, stainless steel, on piping and components

Dimensions



Unit	Main dimensions			Connections		Unit mass (kg)
	Length	Height	Depth	A/B	K/L	
APU-M-12-54-S	1250	1500	400	DN50	DN20	230
APU-M-29-144-S	1350	1600	450	DN65	DN25	320
APU-M-42-252-S	1450	1700	450	DN80	DN40	380
APU-M-12-54-T	1250	1500	450	DN50	DN25	270
APU-M-29-144-T	1350	1600	450	DN65	DN40	330
APU-M-42-252-T	1450	1700	450	DN80	DN50	400

Information in this publication is subject to change without notice. In case of any difference between the reference documents and the technical specification, the technical specification shall overrule. All APU documents supplied remain the property of Auramarine Ltd.

All rights reserved. No part of this document may be reproduced, stored, photocopied, recorded or transmitted without permission of the copyright owner.



Auramarine Ltd.
sales@auramarine.com
after.sales@auramarine.com
www.auramarine.com



DESCRIPCION

Son bombas rotativas volumétricas, autoaspirantes, basadas en dos engranajes helicoidales, uno conductor y otro conducido, que proporcionan un caudal constante a velocidad constante. Incorporan una válvula *by-pass* de alivio, regulable y de apertura automática, para evitar daños en la instalación y en la propia bomba.

Un amplio dimensionado de los engranajes y la aplicación de las técnicas más modernas en la mecanización y control de calidad de los mismos, confieren a esta serie una especial robustez y seguridad.

Se recomienda instalar en la aspiración un registro con filtro generosamente dimensionado, para garantizar la limpieza del fluido a bombear.

APLICACIONES

La **Serie RC de Bombas ITUR** debe emplearse para el bombeo de líquidos limpios, viscosos y con propiedades lubricantes, por lo que resulta muy apropiada en:

- **Industria del aceite**
 - Aceites minerales y vegetales
 - Derivados del aceite
 - Grasas
 - Aditivos
- **Industria petro-química**
 - Asfalto (s.m.)
 - Polímeros líquidos
 - Disolventes (s.m.)
 - Emulsiones
 - Colas (s.m.)
 - Fuel-oil, gas-oil,... (s.m.)
- **Industria química**
 - Pasta de jabón líquido (s.m.)
 - Aceite de soja
 - Glicerina
- **Industria de pinturas y lacas**
 - Aglomerantes (s.m.)
 - Colorantes (s.m.)
 - Disolventes (s.m.)
 - Tinte textil (s.m.)
- **Industria naval**
 - Lubricación de motores
 - Alimentación de combustible (s.m.)
 - Trasiegos de aceites lubricantes
 - Trasiegos de combustibles (s.m.)

Nota: (s.m.) = según modelo de bomba. Consultar.

AMPLITUD DE LA SERIE

La **Serie RC** consta de 9 tamaños de bombas diferentes, dos de ellos en construcción monobloc y el resto sobre bancada con acoplamiento elástico y motor independiente, o en posición vertical (RCV).

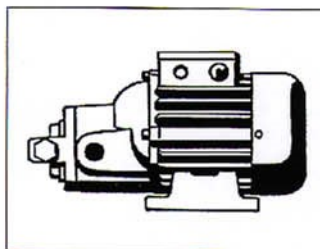
Límites de servicio

CONCEPTO	Unidades	Medida
Caudal máximo	(m ³ /h)	90
Presión máxima	(bar)	10
Viscosidad del fluido	(cSt)	10 - 1.000
Viscosidad del fluido	(°E)	1,83 - 130
Velocidad máxima	(rpm)	1.800
Temperatura máxima	(°C)	90

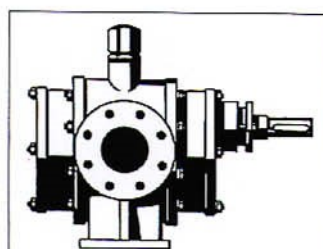
CONSTRUCCION

Cuerpo de bomba con mecanizado interior de precisión. **Conexiones** roscadas hasta 1 1/2", o con bridas PN-16 para tamaños de DN 50 hasta 100 mm. **Engranajes** helicoidales ampliamente dimensionados. El sellado se realiza mediante **cierre mecánico**, opcionalmente con **empaquetadura**. Existen tres formas constructivas:

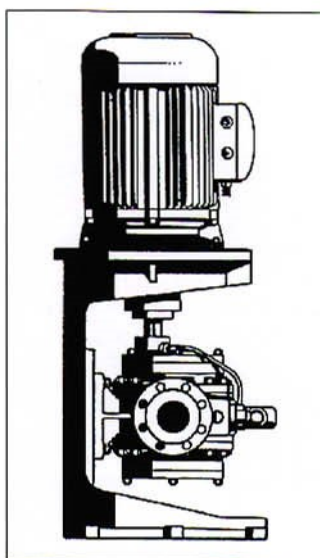
- **Monobloc** (tipos RC-00 y RC-01)
- **Horizontal** eje libre o sobre bancada (tipos RC-1 a RC-4R)
- **Vertical** con base de apoyo (tipos RC-1 a RC-4R)



Ejecución monobloc



Ejecución horizontal eje libre



Ejecución vertical con base de apoyo y motor.

Los ejes y engranajes de los modelos RC-1, RC-1 1/2 y RC-2, van guiados mediante **cojinetes** especiales alojados en las tapas laterales. En los modelos RC-2R, RC-2RD, RC-3R y RC-4R, van guiados mediante robustos **rodamientos**, situados en el soporte intermedio. En este caso la **lubricación** se realiza por el propio fluido.

El modelo RCA-3R se construye con **cámara de calorifugación** en el cuerpo y **soportes** exteriores para evitar la transmisión del calor a los rodamientos.

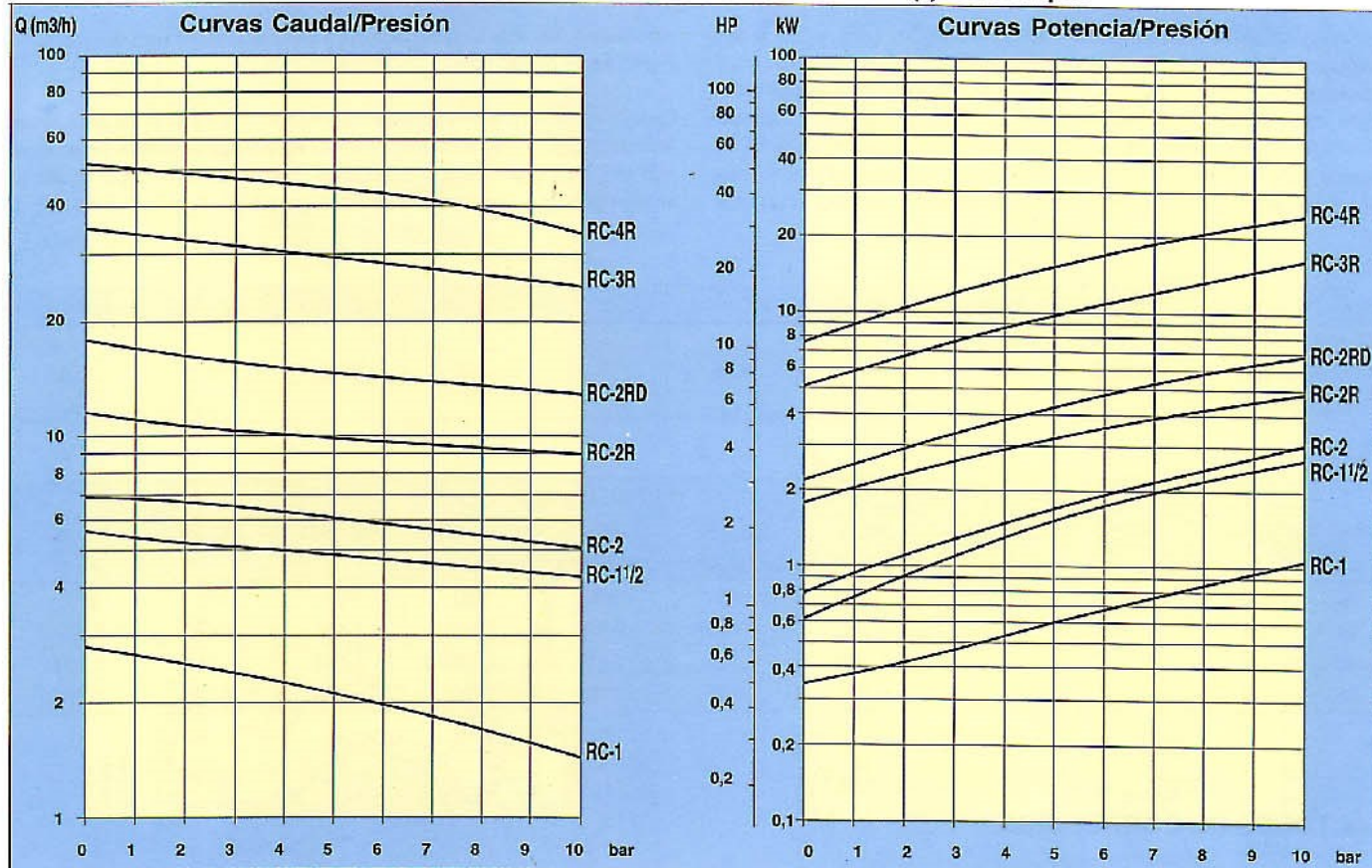
MATERIALES

Ref ^a	Denominación	Material
101	Cuerpo de bomba	GG-25
751	Cuerpo de válvula	GG-25
381	Soporte intermedio	GG-25
870	Engranajes	Acero F-1150 tratado
210	Ejes	Acero F-114

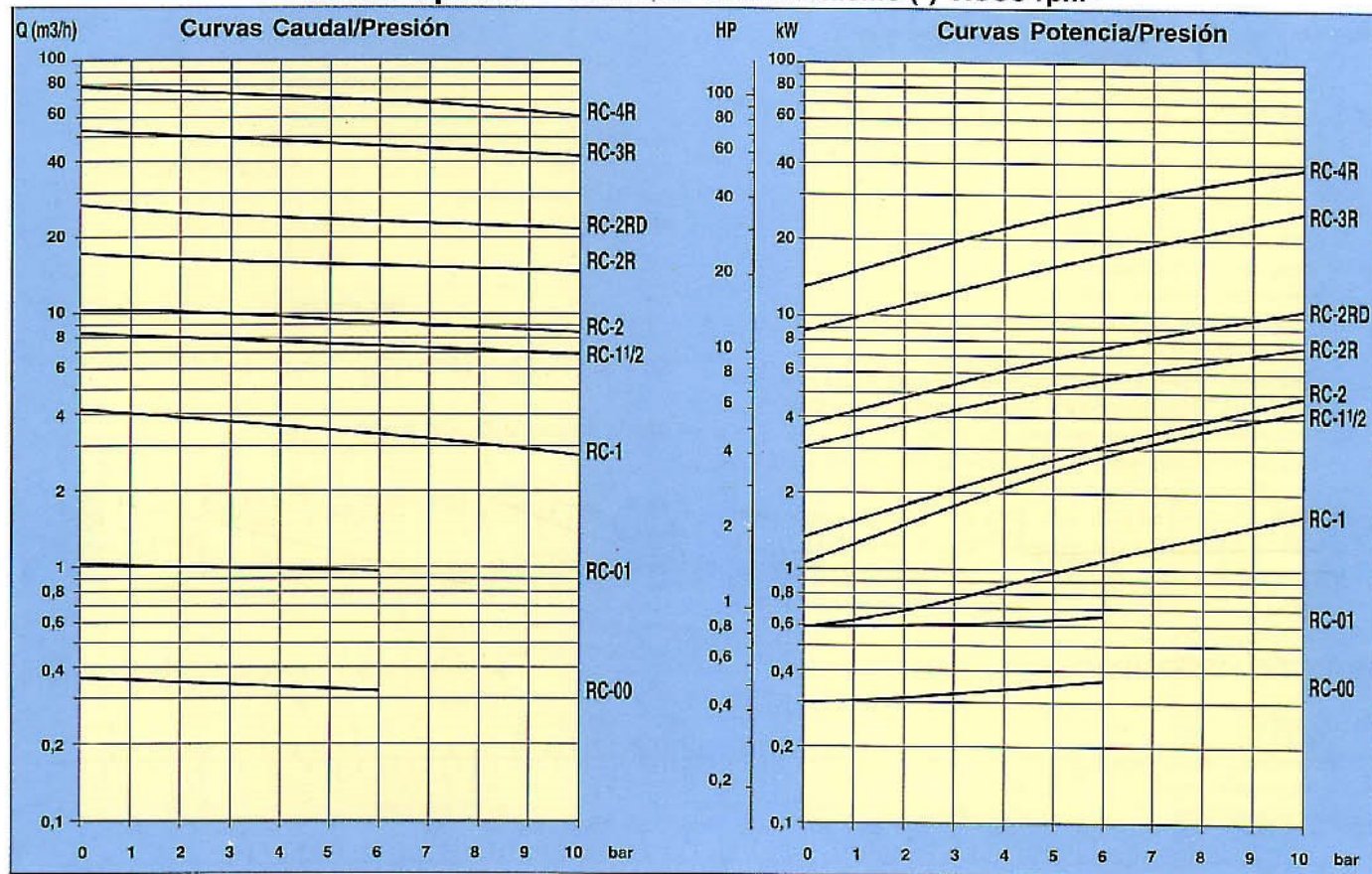
Para líquidos especiales, agresivos, etc. puede construirse en otros materiales. En estos casos consulte con nuestro Departamento de Ingeniería.



50 Hz 6 polos -velocidad de sincronismo (*) 1.000 rpm-

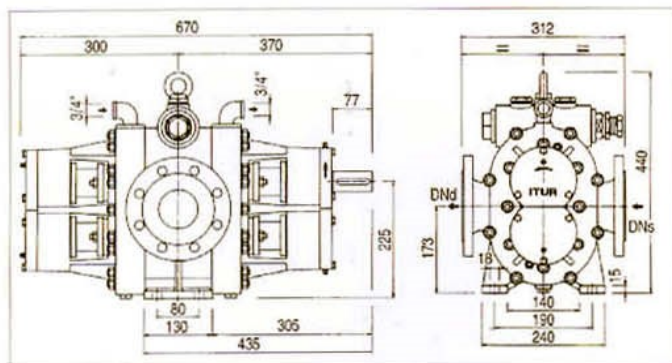


50 Hz 4 polos -velocidad de sincronismo (*) 1.500 rpm-

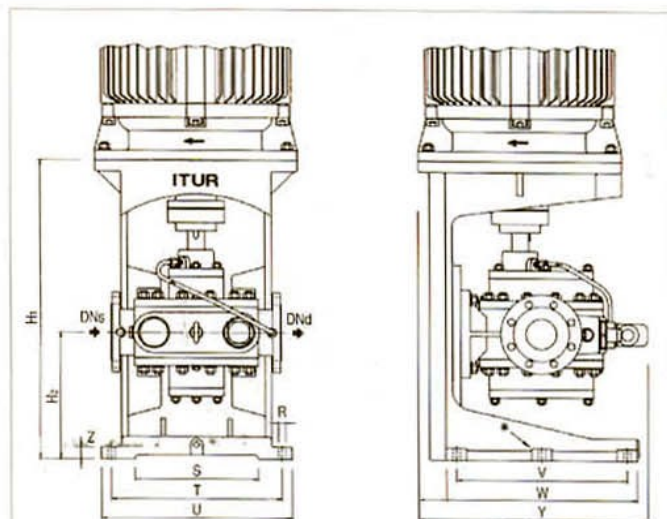


(*) La velocidad real de cada bomba viene reflejada en la página 3, ya que las de sincronismo (1000 y 1500 rpm) son teóricas y orientativas. Los diagramas son para viscosidad $\nu = 20^\circ \text{E}$.

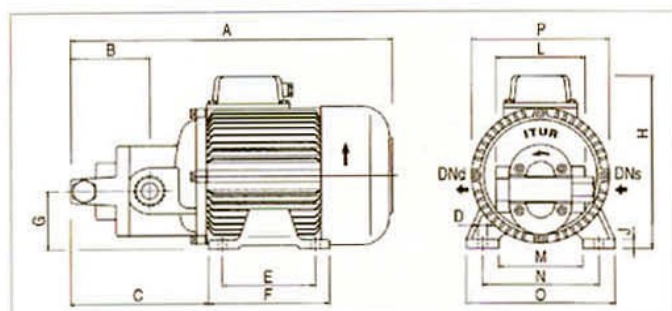
DIMENSIONES



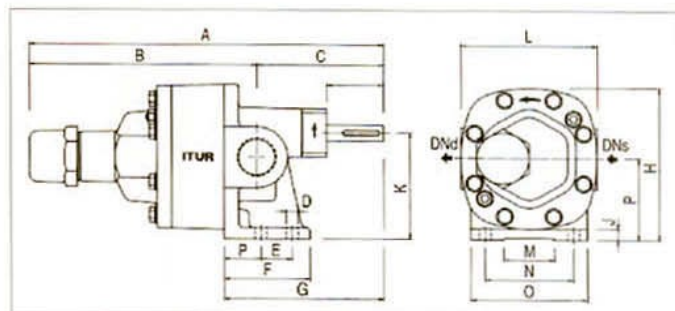
Bomba calorifugada, tipo RCA-3



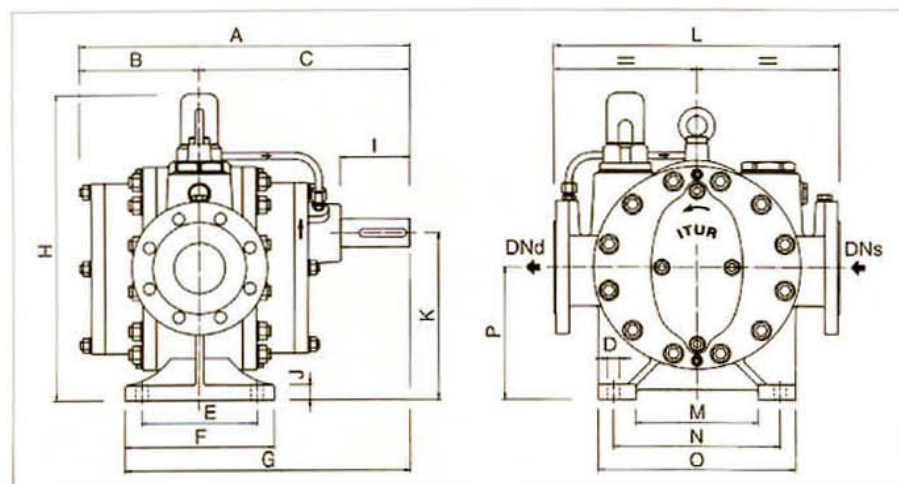
* En los tipos RC-1, RC-1½ y RC-2 DNd-DNd son al revés, y no llevan el orificio central
Ejecución Vertical (RCV)



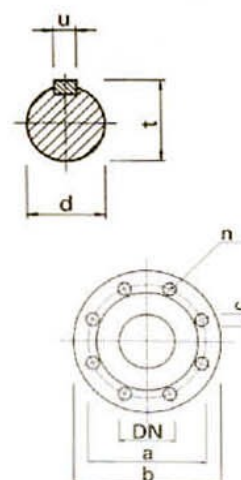
Electrobombas tipos RC-00 de 0,5 HP y RC-01 de 1 HP



Bombas tipos RC-1, RC-1½ y RC-2



Bombas tipos RC-2R, RC-2RD, RC-3R y RC-4R



BRIDAS				
DN	a	b	c	n
50	125	165		4
80	160	200	18	8
100	180	220		8

TIPO DE BOMBA	Orificios		Dimensiones de la bomba															Soporte vertical												Extremo del eje			
	DNs	DNd	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	H ₁	H ₂	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	d	l	t	u	
RC-00	3/4"	3/4"	305	80	125	7	90	112	57	175	10	-	96	84	112	140	140	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RC-01	1"	1"	340	90	145	9,5	100	130	64	205	10	-	97	90	125	160	160	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RC-1	1"	1"	238	76	162	10,5	32	75	190	142	10	100	94	55	105	125	75	400	Según tamaño de motor	14	170	280	310	210	250	0	250	28	16	56	20,5	6	
RC-1 1/2	1 1/2"	1 1/2"	278	102	176	13,5	32	76	220	173	12	132	120	52	120	170	102	577		18	145	312	355	270	312	0	312	28	22	61	24,5	6	
RC-2	1 1/2"	1 1/2"	432	278	154	14,5	38	105	195	191	14	132	166	62	108	142	102	577		18	200	312	355	270	312	0	312	28	22	70	24,5	6	
RC-2R	50	50	380	130	250	18	120	170	335	352	20	200	356	190	250	290	162	700		16	235	350	397	350	400	0	456	40	28	108	31	8	
RC-2RD	50	50	415	148	268	18	120	170	353	352	20	200	356	190	250	290	162	700		16	235	350	397	350	400	0	456	40	28	108	31	8	
RC-3R	80	80	487	177	310	18	170	220	420	458	23	250	420	180	245	290	198	750	18	300	420	470	420	470	55	564	30	42	102	45,1	12		
RC-4R	100	100	547	207	340	18	170	220	450	458	23	250	420	180	245	290	198	750	18	300	420	470	420	470	55	564	30	42	102	45,1	12		

NOTA.- Bombas ITUR sigue una política de continuos avances en el desarrollo de modelos. Por esta razón las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.



MMB

Solids-retaining centrifugal separators

Application

Purification or clarification (optional) of mineral oils used in marine installations and power stations:

- Distillates
- Marine Diesel Oils MDO up to 13 cSt at 40°C
- Lubricating oils for trunk diesel engines operating on distillates and light MDO
- Lubricating oils for steam and gas turbines
- Lubricating and hydraulic oils for hydroelectric power stations

Concept

The MMB series of solids-retaining separators is available in two models, the MMB 304 and MMB 305.

Each MMB separation system comprises:

- An MMB separator
- Ancillary equipment consisting of connections and valve assembly

Optional equipment

- Independent oil feed pump
- Oil heating system, steam or electric
- Water seal alarm MAWA-40

Features and benefits

The unique features of the system are:

- Compact, robust design
- Internal paring disc for discharge of clean oil
- Large sludge space
- Belt-driven

The major benefits are:

- Easy to install.
Requires limited space.
- Pressurised discharge of clean oil.
No need for downstream pump.
- Fewer service manhours.
Larger sludge space extends operating period between manual cleaning.
- Lower maintenance and spare parts costs.



MMB 305 solids-retaining separator.



Water seal alarm MAWA-40.

System working principle

Separation takes place in a solids-retaining, also known as a solid-wall, bowl that can be arranged for purification or clarification (optional). In both cases the contaminated oil is fed to the separator by a feed pump through the oil inlet and is separated by centrifugal force into its various phases. The heaviest phase, sludge, is forced to and deposited at the periphery of the bowl. Separated sludge is collected in the space at the periphery of the bowl and removed periodically by hand using the stainless steel sludge basket. The clean oil is continuously discharged by the built-in paring disc pump. Water leaves the bowl via an open outlet.

When operated in purifier mode, a gravity disc must be fitted to obtain the correct interface position (the boundary between the separated oil and the water seal) in the separator bowl. In the optional clarifier mode, a clarifier disc is fitted instead of a gravity disc.

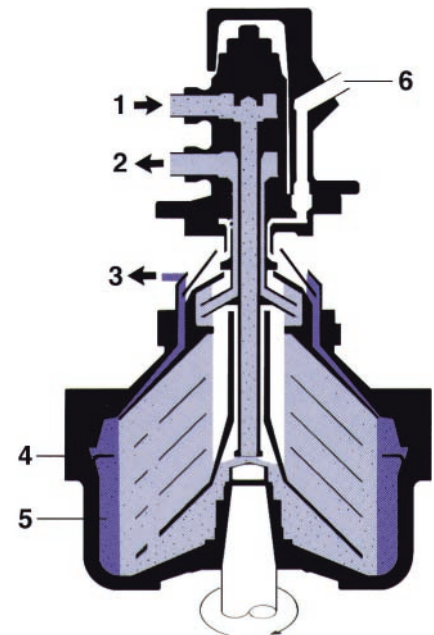
A MAWA-40 water seal alarm is available as optional equipment to monitor the pressure in the clean oil outlet. The control unit will shut off the oil feed to the separator in case a pressure drop is detected and give an audible and visible alarm.

Installation

The MMB separation system is designed for installation as a complete system. The schematic layout in the figure below shows a typical installation of an MMB separator. Contaminated fuel or oil is supplied by the feed pump from the oil tank to the separator bowl for continuous cleaning.

After separation, the cleaned oil is discharged by a built-in paring disc pump.

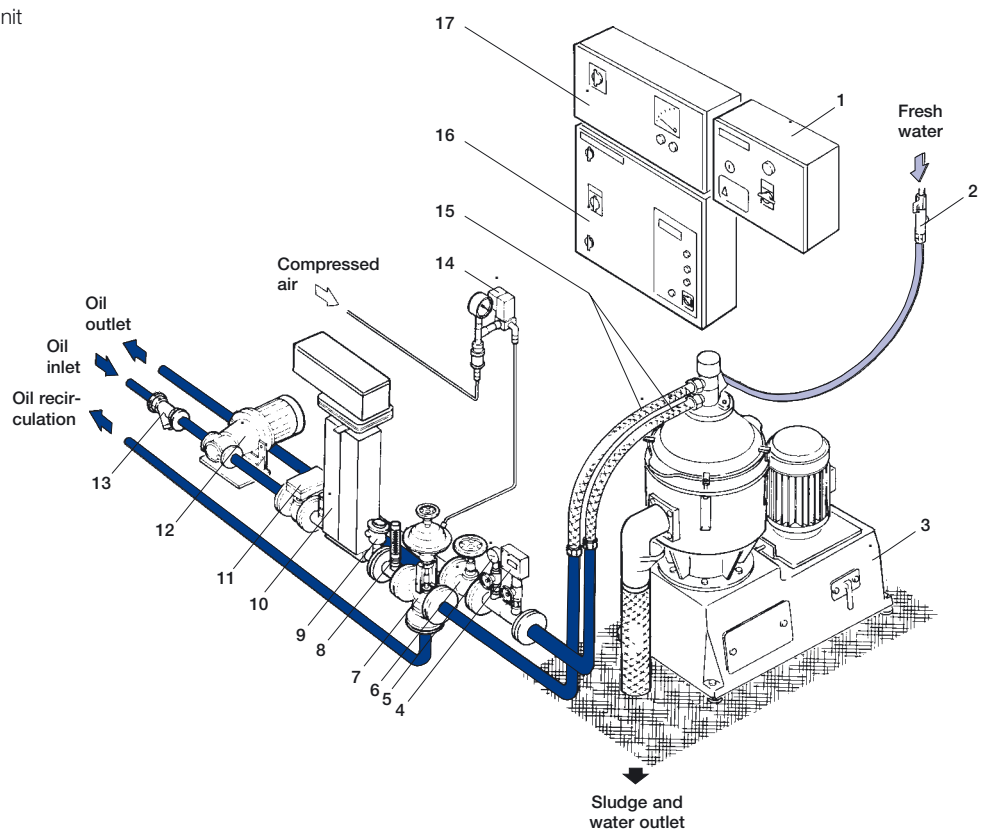
The complete system includes MAWA water seal alarm, starter, heater, valves, piping and other essential ancillary equipment.



Purifier-Clarifier.

- | | |
|-----------------|------------------------|
| 1. Oil inlet | 4. Sludge basket |
| 2. Oil outlet | 5. Sludge |
| 3. Water outlet | 6. Sealing water inlet |

1. MAWA-40 water seal alarm unit
2. Constant flow valve
3. Separator
4. Pressure switch
5. Pressure gauge
6. Regulating valve
7. Three-way valve
8. Thermometer
9. Temperature sensor
10. Preheater
11. Flow switch
12. Oil feed pump
13. Strainer
14. Solenoid valve, air
15. Flexible hoses
16. Control unit for heater
17. Starter for separator and pump



Schematic installation layout of an MMB separation system.

Standard design MMB 304/305

The MMB 304/305 series are solids-retaining separators that are identical in concept, with different throughput capacities.

Each separator model comprises a frame, power transmission and bowl assembly.

The lower frame houses the flat-belt power transmission unit connected to a vertical drive shaft with friction clutch to the vertical bowl spindle.

The bowl is fixed on top of the spindle inside the space formed by the upper part of the frame and the frame hood.

The frame hood also contains the oil inlet and outlet and the sealing water inlet. The separated water is discharged by gravity through an outlet pipe mounted on the frame.

Basic equipment

- MMB separator
- Sealing water inlet with hose nipple, non-return valve and constant flow valve with vacuum breaker
- Set of gravity discs
- Set of resilient mountings
- Stainless steel sludge basket
- Flexible hoses for: oil, water outlet and drain, and sealing water inlet
- Intermediate service kit

Optional equipment

- MAWA-40 water seal alarm unit
- Pressure switch kit
- Three-way valve kit
- Preheater
- Clarifier disc
- Major service kit

Additional equipment required for operation

- Electric motor and starter
- Oil feed pump and starter
- Set of tools

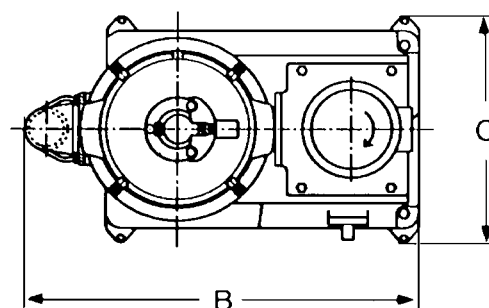
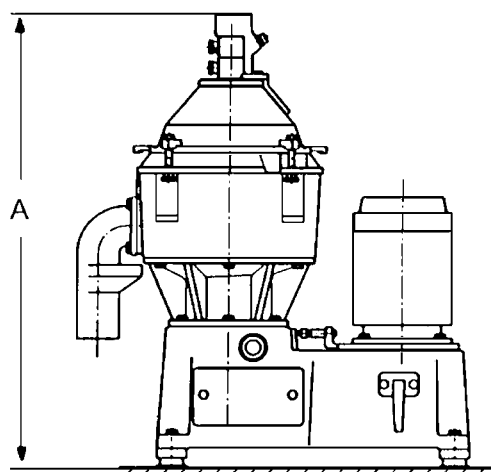
Technical data in brief

	MMB 304	MMB 305
Input voltage supply:	220/230, 380/400, 415, 440 V AC (50/60 Hz)	
Power consumption at max. rec. flow for gas oil:	1.4 kW	2.3 kW

Shipping data

	Dimensions (mm)	
	MMB 304	MMB 305
A	910	935
B	795	795
C	465	465

Type of equipment	Weight (kg)	
	Net	Gross
Separator MMB 304		
– without motor	185	235
– with motor	201	251
Separator MMB 305		
– without motor	190	240
– with motor	218	268



Technical documentation

Complete information and documentation accompany each separator system.

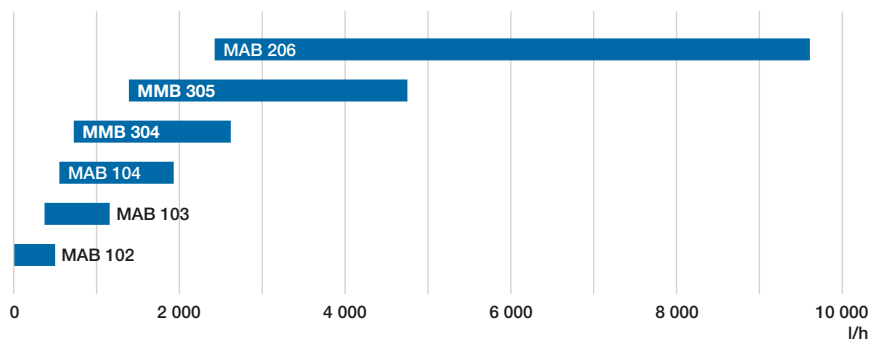
After Sales support

Alfa Laval's Preventive Maintenance Program is available for the MMB 300 series. Alfa Laval service engineers are available to assist you with all types of maintenance and repair, and to help you train your personnel.

The use of genuine Alfa Laval spare parts reduces down-time and repair costs. Spare parts kits can be ordered from Alfa Laval Marine Service Centers and stocked as single units.

Intermediate service kits for routine bowl maintenance and major service kits for bowl overhaul are available.

All service kits include detailed service instructions.



Throughput capacities

The blue bars indicate range from minimum economical throughput on detergent type lubricating oil for trunk diesel engines to a maximum recommended throughput on distillate fuel (1.5–6 cSt/40°C). Detailed information on throughput capacities is provided on separate data sheets for each model.

For more detailed information see the separate data sheet of each model.

How to contact Alfa Laval

Up-to-date Alfa Laval contact details for all countries are always available on our website at www.alfalaval.com

Vertical Centrifugal Lube-Oil Pump

Series ALLMARINE® MELO



Utilization

ALLMARINE MELO pumps are particularly well suited for moving lubricating, non-corrosive liquids without abrasive components, commonly in lubricating-oil loops from a tank container.

Main fields of application

ALLMARINE MELO pumps are specially designed as Main-Engine Lube-Oil pumps for circulating lube oil

- into large diesel engines used as main engines in shipbuilding as well as
- in prime movers in diesel driven stationary power stations and
- in general industrial applications where lube-oil circuits are supplied by tank-type containers.

Performance data

Capacity	Q up to 1600 m ³ /h
Delivery head	H up to 155 m
Discharge pressure	p _d up to 16 bar ①
Temperature of the pumped liquid	t up to 100 °C

① 2-stage version

The limits quoted are maximums. Figures may be lower depending on specified technical execution. The mentioned performance data are to be considered as a product and performance abstract only. The particular operating limits can be taken from the quotation or order acknowledgement.

Abbreviation

<u>ALLMARINE MELO</u>	<u>200 – 1 / 01</u>	<u>S</u>	<u>1500</u>	<u>W201</u>
Series				
Discharge branch Ø				
Number of stages				
Hydraulic number				
Version ①				
Immersion depth N in mm				
Material design				

① Depends on the immersion depth (see tab. Main dimensions/immersion depth on page 6)

S = short without intermediate bearing

L = long with intermediate bearing

This abbreviation is entered on the nameplate.

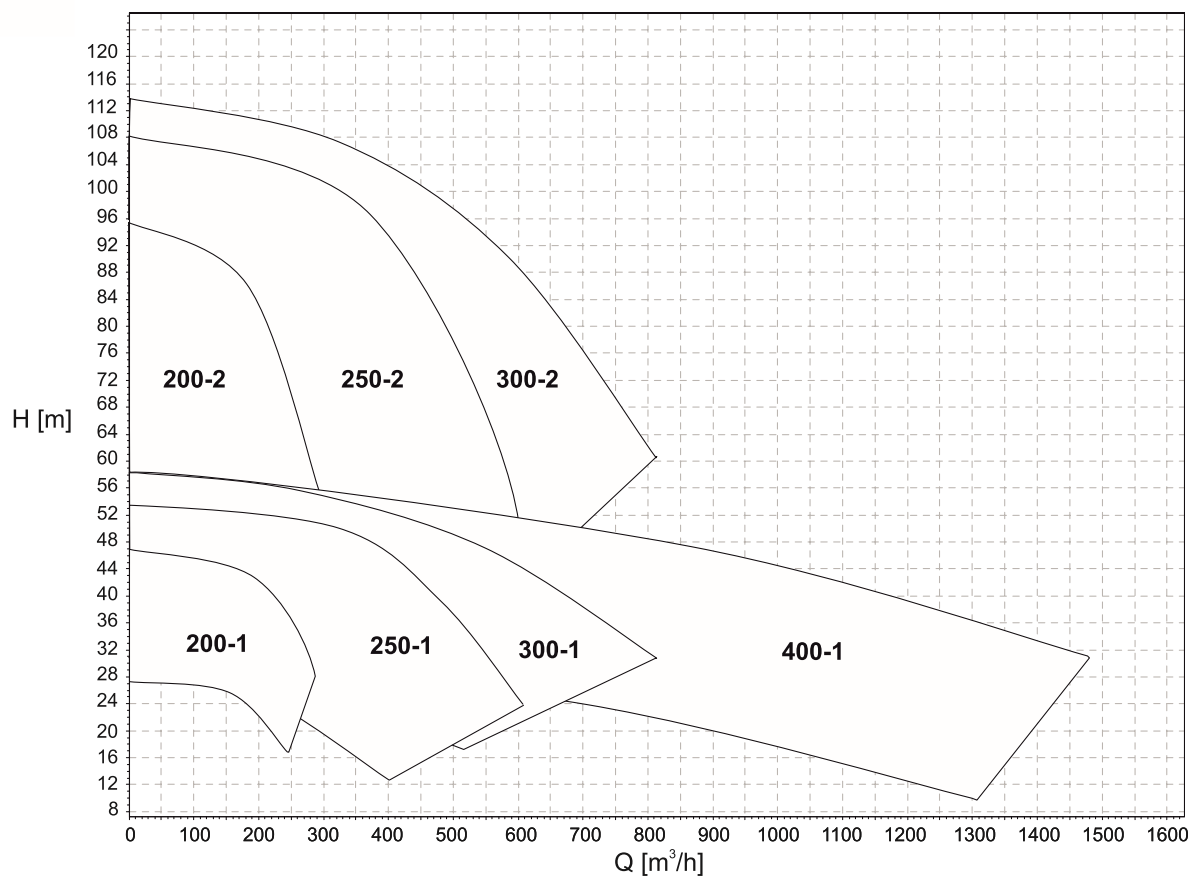
Design and series construction

Installed in the oil reservoir vertically as an immersed centrifugal pump.

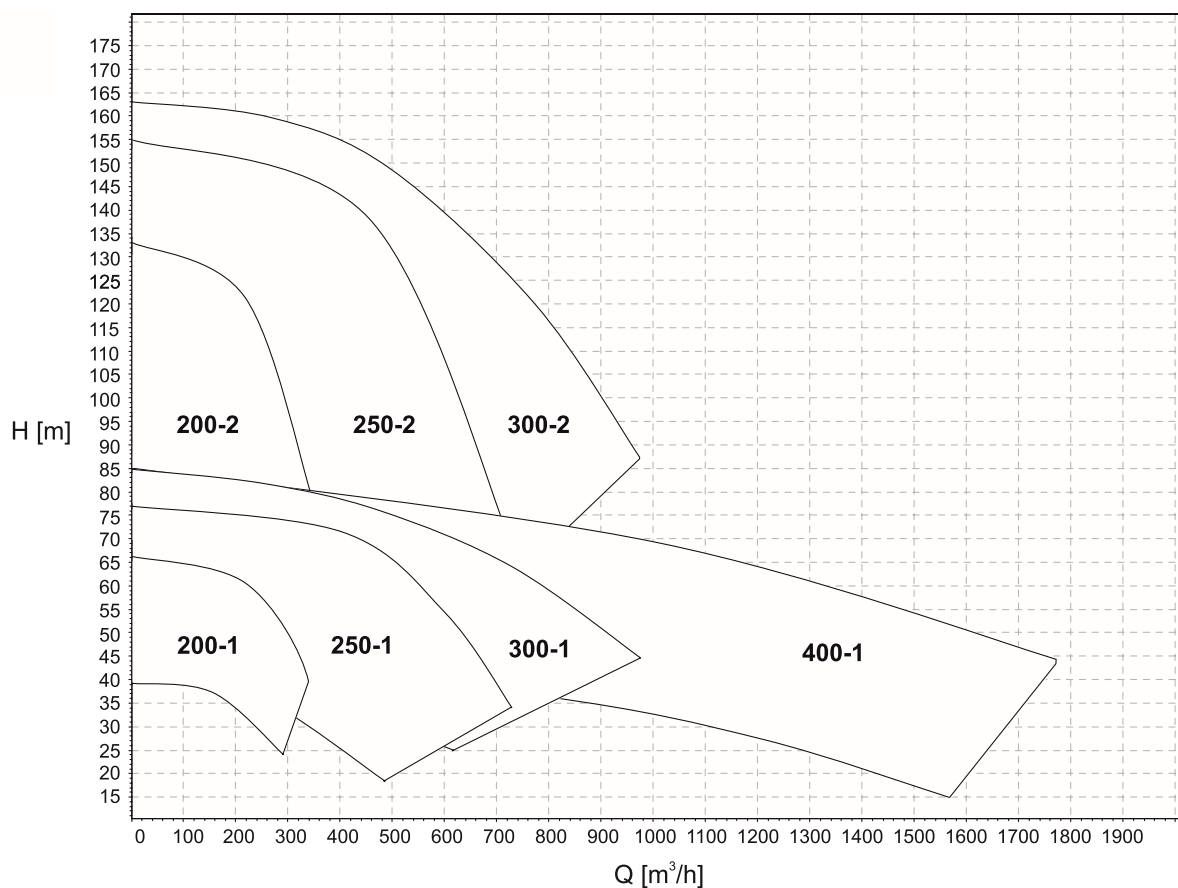
One-stage versions are available for all sizes. Sizes 200, 250 and 300 are also available in a two-stage version. Different submerged-part lengths are available in 100-mm increments.

Performance graphs

50 Hz
n=1.450 1/min



60 Hz
n=1.750 1/min



Exact performance data to be taken from the selection programme ALLSELECT.



MAB

Solids-retaining centrifugal separator

Application

Purification or clarification of mineral oils used in marine installations and power stations (fuel and lubricating oils).

Working principle

Separation takes place in a solids-retaining bowl that can be arranged for either clarification or purification. In both cases, the contaminated oil is fed into the separator through the centre, and it is separated by centrifugal force into its various phases, the heaviest phase (sludge and water) being forced outwards to the periphery of the bowl. The accumulation of sludge is periodically removed from the bowl by hand.

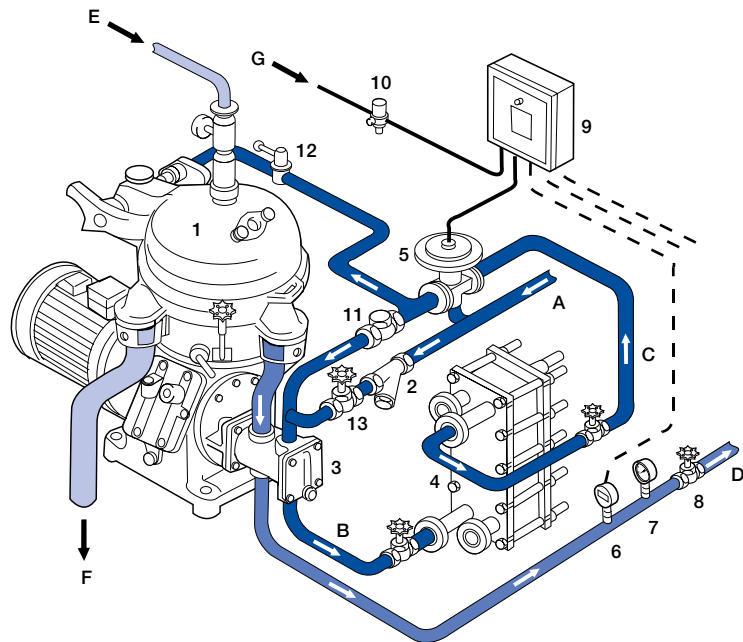
Installation

The oil is pumped, heated, and separated as shown in the figure. A liquid seal in the separator bowl prevents the oil from escaping through the water outlet. If this seal is broken, an alarm device is activated. With unmanned engine rooms, the signals are transmitted to a remote control unit. When the seal is broken, the three-way valve shuts off the oil feed and the oil is recirculated until the fault is corrected.



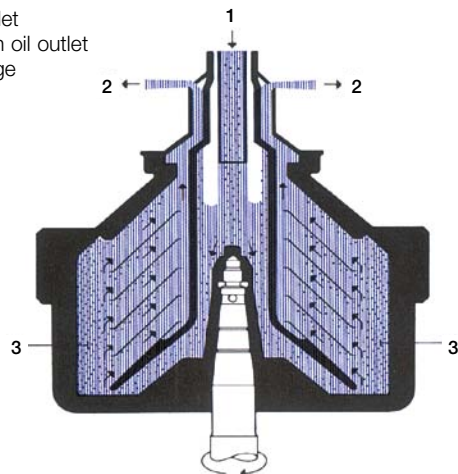
Separator model MAB 103B complete with feed/discharge pump and fittings for connection to a preheater.

- A. Oil feed to pump
 - B. Oil to heater
 - C. Oil to separator
 - D. Oil from separator outlet
 - E. Liquid-seal supply
 - F. Water outlet
 - G. Air supply for three-way valve
-
- 1. MAB separator
 - 2. Oil strainer
 - 3. Feed/discharge pump
 - 4. Plate heat exchanger
 - 5. Three-way valve
 - 6. Pressure switch
 - 7. Pressure gauge
 - 8. Regulating valve
 - 9. Liquid-seal alarm cabinet
 - 10. Air reducing valve
 - 11. Check valve
 - 12. Shut-off valve
 - 13. Regulating valve



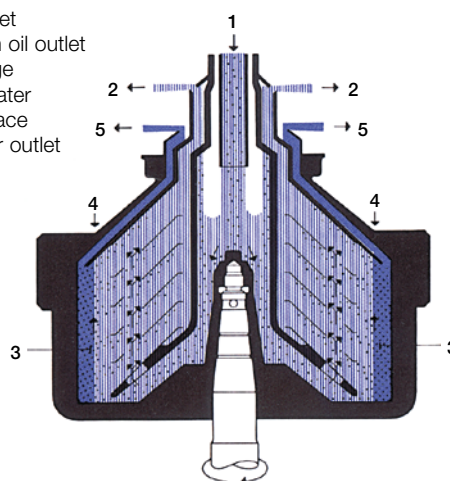
Schematic installation layout of MAB separator with plate-type oil heater.

1. Oil inlet
2. Clean oil outlet
3. Sludge



MAB bowl arranged as a **clarifier** for separating oils containing sludge and a very small quantity of water.

1. Oil inlet
2. Clean oil outlet
3. Sludge
4. Oil/water interface
5. Water outlet



MAB bowl arranged as a **purifier** for separating oils containing sludge and an appreciable quantity of water.

Standard design

Solids-retaining separator comprising a frame containing in its lower part a horizontal drive shaft with friction clutch and brake, worm gear and a vertical bowl spindle. The worm gear is placed in an oil bath.

The bowl is fixed on the top of the spindle inside the space formed by the upper part of the frame and the frame hood which also carries the feed and discharge systems. The frame hood is hinged to facilitate easy access for cleaning the bowl which is of the solid-wall disc type.

Basic equipment

- Dirty oil inlet device.
- Clean oil outlet device with sight glass.
- Water outlet spout.
- Liquid seal water inlet.
- Set of gravity discs.

- Clarifier parts comprising discharge collar, top disc without neck, and bottom disc without holes.
- Revolution indicator.
- Set of resilient mountings.
- Set of Standard Spare Parts.
- Built-on gear type pump (combined feed/discharge pump).

Extra equipment

- Electric motor.
- Starter.
- Set of tools.
- Set of recommended additional spares for long-time service.
- Flexible connections.
- Preheater.
- Alarm device for broken liquid seal.

Technical documentation

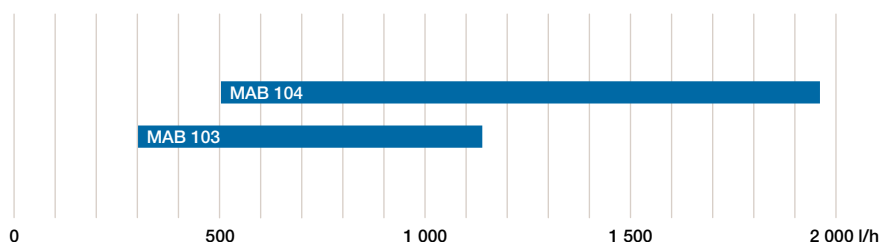
Complete information and documentation accompany each separator delivery. The Instruction Book provides

separator operators with detailed instructions and advice for obtaining optimal separation.

The Maintenance and Repair Manual describes separator dismantling and reassembly. The Spare Parts Catalogue facilitates the ordering of spare parts.

Service

Alfa Laval is a worldwide corporation with its head office in Sweden, and affiliated companies and representatives in about 130 countries. Spares and service for all Alfa Laval process equipment are provided through the organization of the Alfa Laval Group and its representatives.



Throughput capacity

Blue bar indicates range from minimum economical throughput on detergent type lubricating oil to maximum recommended throughput on distillate (1.5–5.5 cSt/40°C).

EMD00064EN 1303

Alfa Laval reserves the right to change specifications without prior notification.

How to contact Alfa Laval

Up-to-date Alfa Laval contact details for all countries are always available on our website at www.alfalaval.com

APPLICATIONS

Coolant Preheater designed for large Gas- and Diesel Engines for Marine-, Power-, Construction- and Mining Applications

DIMENSIONS AND WEIGHT

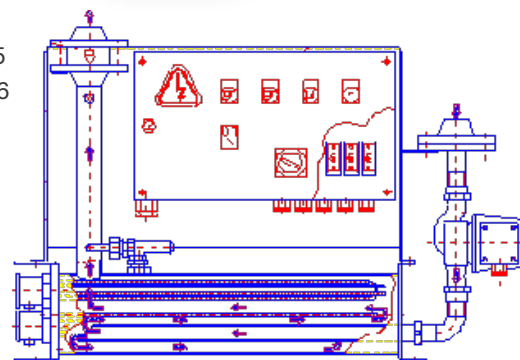
Heights	mm	660 - 1050
Length	mm	970 - 1600
Depth	mm	230 - 500
Weight	kg	70 - 210



Complete Engine Pre-heater with Pump, Flow heater and all required controls.

PRODUCT SPECIFICATIONS

- › Medium: Coolant (50% Glycol / 50% Water)
- › Heating Power: Up to 270 kW (More Power available on request)
- › Voltage Range: 1 or 3 Phase 120 V - 690 V, 50 Hz or 60 Hz
- › Housing Material: Steel
- › Thermostat: adjustable: 10-120°C
- › Safety High Limiter: adjustable 0-150°C
- › Ingress Protection: Motor: IP 54/55 for element and enclosure: To IP 66
- › Fluid Capacity: 3.5 l
- › Pump Power: 0.15 - 1.5 kW
- › Pump Flow: 4-20 m³/h
- › Pump Head: up to 25 m
- › Operating Pressure: 6.0 bar
- › Connections: DIN/ANSI/NPT/BSP Threaded or Flanged



INSTALLATION SIZE	PE11-PE11	PE20-PE21	PE30-PE32	PE40-PE50	PE60
Heating Power in KW	2 - 36	30 - 72	54 - 144	117 - 216	> 216
Pump Flow in m³/h	4 - 6	4 - 12	6 - 12	15 - 30	20 -

TECHNICAL BENEFITS

- ✓ Low and optimized surface watt density (longer heating element life, no damage to the medium and system)
- ✓ Welded construction with optional Welding Certificate. Less fittings and material pairing. No hose connections
- ✓ Temperature control in direction of the flow of the medium. Temperature sensors inside the medium, near heating element.
- ✓ Intelligent flow direction. Heat-up path away from element enclosure.
- ✓ Higher Ingress Protection (Motor IP 54/55, for Element/ Enclosure to IP 65)
- ✓ System designed for order specific standards such as: VDE, ATEX, CSA, UL, GL, ABS etc.
- ✓ CE Marking
- ✓ Relay for automatic operation
- ✓ Auxiliary contacts for remote monitoring
- ✓ Emergency Stop

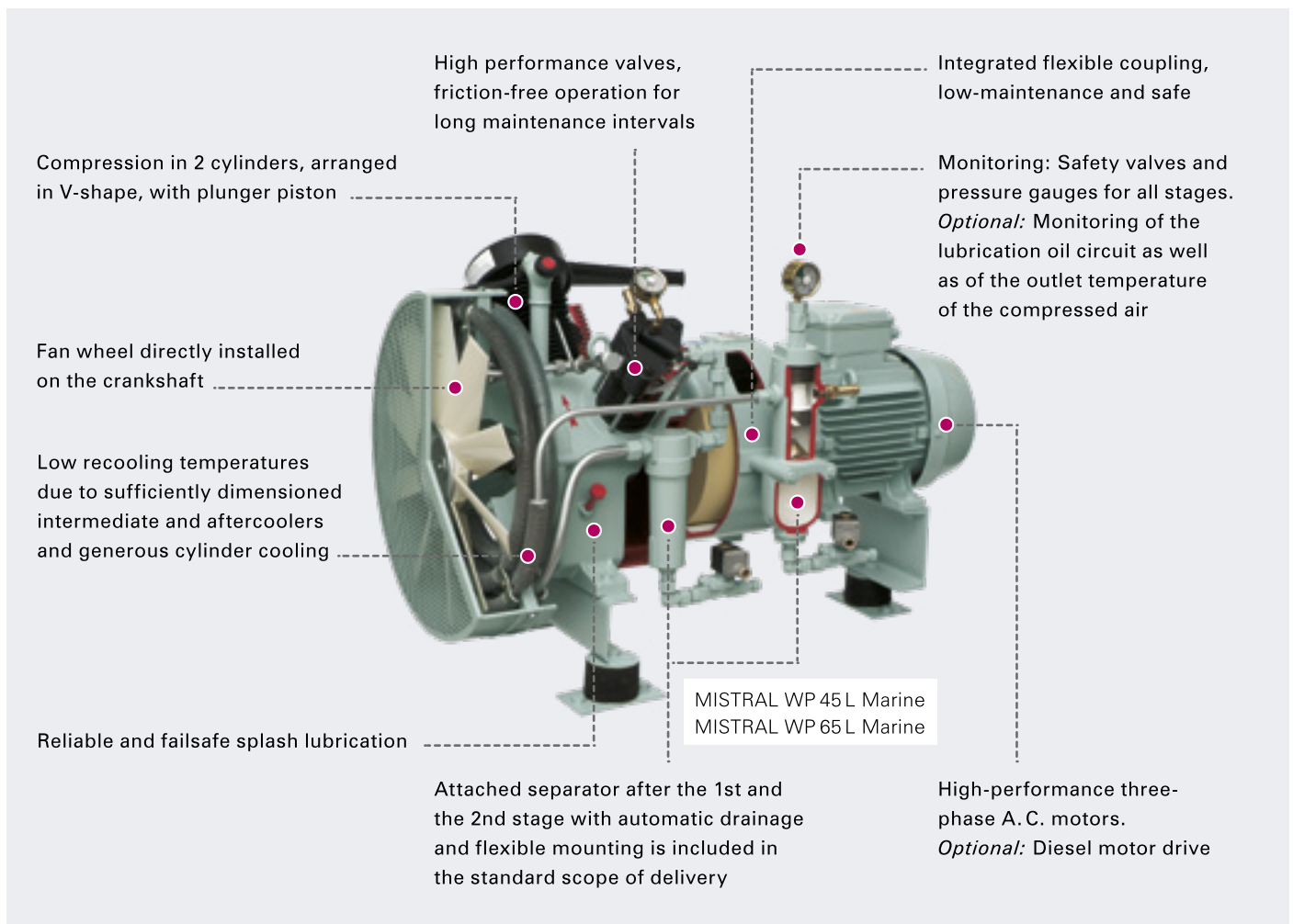
//// Mistral

2-stage air-cooled starting-air compressors

Today, Sauer's 2-stage air-cooled starting-air compressors are among the most modern and low maintenance compressors available worldwide. More than a thousand of these dependable compressors are delivered to our customers every year.

General advantages

- Low installation cost due to absence of cooling water circuit
- Light-weight and less space required for installation
- Reliable and safe to operate, even at ambient temperatures up to 60°C
- Suitable for even the most difficult ambient conditions



//// Mistral **MarineDiesel**

- Diesel driven for Black-Start and Emergency
- Hand- or electric start
- Available as Mistral WP 15 L, WP 22 L, WP 45 L and WP 65 L

Pella Tug

2 x Mistral WP 15 L Marine

**Timbus**

2 x Mistral WP 65 L Marine | 1 x SC 31

**Bourbon Liberty 249**

2 x Mistral WP 33 L Marine

**Technical data**

MISTRAL series | Technical data for a final pressure of 30 barg

Type	Final pressure barg	Stages	Cylinder	Speed rpm	Charging capacity m³/h	Power consumption kW	Heat dissipation kJ/sec	Weight kg	Length mm	Width mm	Height mm
H 25	30	2	2	50 double-strokes/min	1.8	Hand air compressor		28	312	230	200
WP 15 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	12.0 15.0 18.0	2.7 3.4 4.1	3 4 5	135	855	600	630
WP 22 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	17.0 21.0 25.0	3.5 4.4 5.4	4 5 6	135	855	600	630
WP 33 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	23.0 30.0 35.0	5.1 6.5 7.8	6 7 9	145	890	600	630
WP 45 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	40.0 50.0 60.0	7.6 9.6 11.5	9 11 13	318	1,214	742	820
WP 65 L Marine	30	2	2	1,180 1,480 1,780	53.0 67.0 80.0	10.2 12.8 15.4	12 15 18	328	1,254	742	820

Performance data with 5% tolerance, referred to 20 °C and an air pressure of 1,013 mbar. Charging capacity according to ship building regulations. Performance data on final pressure deviating from 30 barg upon request. Weights and dimensions for standard units with three-phase A. C. motor, IP 54, and flexible mounting. H 25 is also available with 30 and 63 l vessel.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

»»» Depósitos estándar pintados

Capacidad (L)	100	200	270	500	720	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
Presión (bar)	11	11	11	11	10,8	11	12	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Diámetro Ø	370	446	500	600	750	800	800	1000	1000	1200	1450	1450
H tot (mm)	1172	1570	1668	2055	2030	2120	2315	2305	2805	2965	3070	3570
h (mm)	124	174	170	155	150	130	115	180	180	185	180	180
a	3/4"	1"	1"	1"	1"	1"1/2	2"	2"	2"	3"	3"	3"
b	3/4"	1"	1"	1"	1"	1"1/2	2"	2"	2"	3"	3"	3"
c	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
d	3/8"	3/8"	n.d.	n.d.	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
e	1/2"	1/2"	1/2"	2"	2"	2"	2"	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4
f	1/2"	1/2"	1/2"	2"	2"	2"	2"	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4
l (mm)	298	397	599	775	895	860	745	590	595	700	780	780
m (mm)	998	1222	1304	1560	1705	1780	1685	1860	2355	2410	2430	2930
Tipo de kit incluido	1	2	3	4	4	6	7	B	B	B	no incluido	
Peso (kg)	37	51	62	127	180	200	204	278	352	537	802	923
Normativa y estándares	87/404/CE						97/23/CE (PED)					

»»» Depósitos estándar de zinc

Capacidad (L)	100	200	270	500	720	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
Presión (bar)	11	11	11	11	10,8	11	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Diámetro Ø	370	430	500	600	790	790	790	1000	1000	1200	1450	1450
H tot (mm)	1229	1601	1685	2077	1863	2213	2345	2305	2805	2965	3070	3570
h (mm)	176	196	192	174	200	200	200	180	180	185	180	180
a	3/4"	3/4"	3/4"	1"1/2	1"1/2	2"	2"	2"	2"	3"	3"	3"
b	3/4"	3/4"	3/4"	1"1/2	1"1/2	2"	2"	2"	2"	3"	3"	3"
c	3/8"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
d	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
e	2"	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4
f	2"	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1" 1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4
l (mm)	447	397	442	689	690	800	725	590	595	700	780	780
m (mm)	1055	1357	1422	1689	1440	1800	1725	1860	2355	2410	2430	2930
Tipo de kit incluido	1	A	A	A	A	A	B	B	B	B	no incluido	
Peso (kg)	40	55	66	143	184	209	224	306	387	591	882	1025
Normativa y estándares	87/404/CE						97/23/CE (PED)					

»»» Depósitos estándar de vitroflex

Capacidad (L)	100	200	270	500	720	900	1000	1500	2000	3000	4000	5000
Presión (bar)	N.A.	11	11	11	10,8	11	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5
Diámetro Ø	N.A.	430	500	600	790	790	790	1000	1000	1200	1450	1450
H tot (mm)	N.A.	1601	1685	2077	1863	2213	2345	2305	2805	2965	3070	3570
h (mm)	N.A.	196	192	174	200	200	200	180	180	185	180	180
a	N.A.	3/4"	3/4"	1"1/2	1"1/2	2"	2"	2"	2"	3"	3"	3"
b	N.A.	3/4"	3/4"	1"1/2	1"1/2	2"	2"	2"	2"	3"	3"	3"
c	N.A.	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
d	N.A.	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"	3/8"
e	N.A.	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4
f	N.A.	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4	1"1/4
l (mm)	N.A.	397	442	689	690	800	725	590	595	700	780	780
m (mm)	N.A.	1357	1422	1689	1440	1800	1725	1860	2355	2410	2430	2930
Tipo de kit incluido	N.A.	A	A	A	A	A	B	B	B	B	no incluido	
Peso (kg)	N.A.	50	60	130	167	190	204	278	352	537	802	932
Normativa y estándares	N.A.	87/404/CE						97/23/CE (PED)				

AXIAL

Ventilador helicoidal mural



Registered

Hélices multi-caudal M.N.S. (Multiflow Novovent System), de perfil grueso y alto rendimiento, que facilitan la selección según preferencias respecto al caudal, consumo, nivel sonoro, tamaño, etc. Motores sobredimensionados con poco deslizamiento, reja tupida integrada en los brazos soporte motor. Todos los modelos son regulables, por sistemas electrónicos o transformador.

Aplicaciones: Industrias, almacenes, restaurantes, talleres, naves, parkings, secaderos, cabinas y equipos frío industrial.

CARACTERÍSTICAS

- Marco de polipropileno reforzado con fibra de vidrio hasta diámetro 630 mm. Diámetros superiores en chapa de acero, acabado en pintura epoxi.
- Hélices de termoplástico de inclinación variable según el exclusivo M.N.S.
- Reja pintada epoxi.
- Motores con aislamiento clase F, protección IP 65 hasta 750 W potencias superiores IP 55. Monofásicos hasta 750 W con protector térmico (Klixon).
- Temperatura de trabajo: De -30 °C hasta 70 °C.
- Sentido del aire: Motor hélice.

OPCIONES:

- Previa consulta pueden servirse para tensiones, frecuencias, regímenes de vueltas distintas y/o motores de doble velocidad.
- Sentido del aire: Hélice motor.
- Versiones 2800 rpm, diámetros superiores a 250 mm ver serie AXIAL SOLID.

230V 50Hz (I~) 2.800 r.p.m. (n: min-1) Ø 250 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 2-250M 30	AX2025M	250	2.000	1,60	0,18	66	•	•	•	•	314,60
AXIAL 2-250M 40	AX2025M40	250	2.620	2,60	0,25	67	•	•	•	•	333,40
AXIAL 2-250M 45	AX2025M45	250	3.010	2,60	0,25	70	•	•	•	•	338,34

400V 50Hz (III~) 2.800 r.p.m. (n: min-1) Ø 250 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 2-250T 30	AX2025T	250	2.000	0,75	0,18	66	•	•	•	•	294,36
AXIAL 2-250T 40	AX2025T40	250	2.620	0,94	0,25	67	•	•	•	•	323,25
AXIAL 2-250T 45	AX2025T45	250	3.010	0,94	0,25	70	•	•	•	•	328,28

230V 50Hz (I~) 1.400 r.p.m. (n: min-1) Ø 250 - 315 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 4-250M 45	AX4025M	250	1.200	0,36	0,06	59	•	•	•	•	288,02
AXIAL 4-315M 34	AX4031M34	315	2.000	1,10	0,09	59	•	•	•	•	303,57
AXIAL 4-315M 45	AX4031M	315	2.520	1,10	0,09	62	•	•	•	•	312,76

ACCESORIOS

Regulación



(de pg. 180 a 183)

Accesorios equipos



DS (pg. 186)



PG (pg. 186)



PS (pg. 187)

230V 50Hz (I~) 1.400 r.p.m. (n: min-1) Ø 355 - 710 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 4-355M 30	AX4035M30	355	2.600	1,10	0,09	61	•	•	•	•	357,00
AXIAL 4-355M 40	AX4035M40	355	3.500	1,10	0,09	63	•	•	•	•	398,42
AXIAL 4-355M 45	AX4035M	355	3.960	1,40	0,12	65	•	•	•	•	400,90
AXIAL 4-400M 30	AX4040M30	400	3.800	1,10	0,09	65	•	•	•	•	412,51
AXIAL 4-400M 40	AX4040M40	400	5.200	1,40	0,12	66	•	•	•	•	413,95
AXIAL 4-400M 45	AX4040M	400	5.600	1,80	0,18	69	•	•	•	•	423,15
AXIAL 4-450M 30	AX4045M30	450	5.500	1,80	0,18	68	•	•	•	•	436,74
AXIAL 4-450M 40	AX4045M40	450	7.300	3,10	0,37	70	•	•	•	•	492,95
AXIAL 4-450M 45	AX4045M	450	8.500	3,10	0,37	72	•	•	•	•	524,33
AXIAL 4-500M 30	AX4050M30	500	7.200	1,80	0,18	72	•	•	•	•	562,51
AXIAL 4-500M 34	AX4050M34	500	8.100	3,10	0,37	72	•	•	•	•	574,67
AXIAL 4-500M 40	AX4050M40	500	9.700	4,50	0,55	73	•	•	•	•	616,42
AXIAL 4-500M 45	AX4050M	500	10.900	5,80	0,75	76	•	•	•	•	646,88
AXIAL 4-560M 24	AX4056M24	560	8.700	3,10	0,37	75	•	•	•	•	670,53
AXIAL 4-560M 34	AX4056M34	560	10.900	4,50	0,55	76	•	•	•	•	706,48
AXIAL 4-560M 40	AX4056M40	560	13.000	5,80	0,75	77	•	•	•	•	726,68
AXIAL 4-560M 45	AX4056M45	560	14.000	8,00	1,10	79	•	•	•	•	766,19
AXIAL 4-630M 24	AX4063M24	630	14.000	5,80	0,75	74	•	•	•	•	838,40
AXIAL 4-630M 34	AX4063M34	630	17.000	8,00	1,10	77	•	•	•	•	882,24
AXIAL 4-630M 40	AX4063M	630	19.000	10,30	1,50	81	•	•	•	•	897,76
AXIAL 4-630M 45	AX4063M45	630	22.000	13,20	2,20	83	•	•	•	•	927,58
AXIAL 4-710M 30	AX4071M30	710	21.000	10,30	1,50	84	•	•	•	•	942,93
AXIAL 4-710M 34	AX4071M34	710	24.000	13,20	2,20	85	•	•	•	•	1.056,34

400V 50Hz (III~) 1.400 r.p.m. (n: min-1) Ø 250 - 560 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 4-250T 45	AX4025T45	250	1.200	0,36	0,06	59	•	•	•	•	263,03
AXIAL 4-315T 34	AX4031T34	315	2.000	0,42	0,09	59	•	•	•	•	267,69
AXIAL 4-315T 45	AX4031T	315	2.520	0,42	0,09	62	•	•	•	•	285,93
AXIAL 4-355T 30	AX4035T30	355	2.600	0,42	0,09	61	•	•	•	•	313,13
AXIAL 4-355T 40	AX4035T40	355	3.500	0,42	0,09	63	•	•	•	•	365,46
AXIAL 4-355T 45	AX4035T	355	3.950	0,65	0,12	65	•	•	•	•	367,95
AXIAL 4-400T 30	AX4040T30	400	3.800	0,42	0,09	65	•	•	•	•	377,16
AXIAL 4-400T 40	AX4040T40	400	5.200	0,65	0,12	66	•	•	•	•	397,34
AXIAL 4-400T 45	AX4040T	400	5.600	0,80	0,18	69	•	•	•	•	404,76
AXIAL 4-450T 30	AX4045T30	450	5.500	0,80	0,18	68	•	•	•	•	440,62
AXIAL 4-450T 40	AX4045T40	450	7.300	1,30	0,37	70	•	•	•	•	493,41
AXIAL 4-450T 45	AX4045T	450	8.500	1,30	0,37	72	•	•	•	•	503,35
AXIAL 4-500T 30	AX4050T30	500	7.200	0,80	0,18	72	•	•	•	•	501,75
AXIAL 4-500T 34	AX4050T34	500	8.100	1,30	0,37	72	•	•	•	•	531,37
AXIAL 4-500T 40	AX4050T40	500	9.700	1,60	0,55	73	•	•	•	•	577,92
AXIAL 4-500T 45	AX4050T	500	10.900	2,20	0,75	76	•	•	•	•	609,09
AXIAL 4-560T 24	AX4056T24	560	8.700	1,30	0,37	75	•	•	•	•	672,72
AXIAL 4-560T 34	AX4056T34	560	10.900	1,60	0,55	76	•	•	•	•	683,14
AXIAL 4-560T 40	AX4056T	560	13.000	2,20	0,75	77	•	•	•	•	712,50
AXIAL 4-560T 45	AX4056T45	560	14.000	2,90	1,10	79	•	•	•	•	715,10

ACCESORIOS

Regulación



(de pg. 180 a 183)

Accesorios equipos



DS (pg. 186)

PG (pg. 186)

PS (pg. 187)

400V 50Hz (III~) 1.400 r.p.m. (n: min-1) Ø 630 - 1.000 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 4-630T 24	AX4063T24	630	14.000	2,20	0,75	74	•	•	•	•	831,18
AXIAL 4-630T 34	AX4063T34	630	17.000	2,90	1,10	77	•	•	•	•	836,75
AXIAL 4-630T 40	AX4063T	630	19.000	3,65	1,50	81	•	•	•	•	889,04
AXIAL 4-630T 45	AX4063T45	630	22.000	5,05	2,20	83	•	•	•	•	905,48
AXIAL 4-710T 30	AX4071T30	710	21.000	3,65	1,50	82	•	•	•	•	900,83
AXIAL 4-710T 34	AX4071T34	710	24.000	5,05	2,20	85	•	•	•	•	914,78
AXIAL 4-710T 40	AX4071T	710	29.000	6,60	3,00	84	•	•	•	•	942,63
AXIAL 4-710T 45	AX4071T45	710	32.000	9,40	4,00	87	•	•	•	•	975,13
AXIAL 4-800T 30	AX4080T	800	27.000	9,40	4,00	83	•	•	•	•	983,36
AXIAL 4-800T 34	AX4080T34	800	32.000	12,14	5,50	84	•	•	•	•	1.142,30
AXIAL 4-800T 40	AX4080T40	800	37.000	16,90	7,50	86	•	•	•	•	1.488,56
AXIAL 4-800T 45	AX4080T45	800	42.000	16,90	7,50	87	•	•	•	•	1.623,81
AXIAL 4-900T 24	AX4090T	900	33.000	12,14	5,50	86	•	•	•	•	1.207,32
AXIAL 4-900T 30	AX4090T30	900	41.600	16,90	7,50	88	•	•	•	•	1.553,30
AXIAL 4-900T 40	AX4090T40	900	58.700	22,60	11,00	90	•	•	•	•	1.806,83
AXIAL 4-900T 45	AX4090T45	900	66.300	31,00	15,00	91	•	•	•	•	2.272,15
AXIAL 4-1000T 24	AX4010T	1.000	47.000	12,14	5,50	89	•	•	•	•	1.552,13
AXIAL 4-1000T 30	AX4010T30	1.000	57.100	16,90	7,50	91	•	•	•	•	1.784,78
AXIAL 4-1000T 34	AX4010T34	1.000	68.500	22,60	11,00	91	•	•	•	•	2.404,81
AXIAL 4-1000T 40	AX4010T40	1.000	80.000	31,00	15,00	93	•	•	•	•	2.625,05
AXIAL 4-1000T 45	AX4010T45	1.000	90.900	37,00	18,50	94	•	•	•	•	3.095,57

230V 50Hz (I~) 900 r.p.m. (n: min-1) Ø 400 - 800 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 6-400M 30	AX6040M30	400	2.300	1,40	0,09	55	•	•	•	•	399,87
AXIAL 6-400M 40	AX6040M40	400	3.200	1,40	0,09	58	•	•	•	•	417,91
AXIAL 6-400M 45	AX6040M	400	4.200	1,40	0,09	59	•	•	•	•	423,70
AXIAL 6-450M 30	AX6045M30	450	3.500	1,50	0,12	59	•	•	•	•	502,72
AXIAL 6-450M 40	AX6045M40	450	4.500	1,50	0,12	62	•	•	•	•	531,69
AXIAL 6-450M 45	AX6045M	450	5.400	1,50	0,12	63	•	•	•	•	533,54
AXIAL 6-500M 30	AX6050M30	500	4.300	1,75	0,18	62	•	•	•	•	538,89
AXIAL 6-500M 34	AX6050M34	500	5.400	1,75	0,18	63	•	•	•	•	580,96
AXIAL 6-500M 40	AX6050M	500	6.200	1,75	0,18	65	•	•	•	•	607,48
AXIAL 6-560M 30	AX6056M30	560	7.000	1,50	0,12	65	•	•	•	•	625,53
AXIAL 6-560M 34	AX6056M34	560	8.400	1,75	0,18	67	•	•	•	•	698,39
AXIAL 6-560M 40	AX6056M	560	9.300	1,90	0,25	68	•	•	•	•	705,81
AXIAL 6-560M 45	AX6056M45	560	10.800	3,30	0,37	70	•	•	•	•	715,10
AXIAL 6-630M 24	AX6063M24	630	8.100	1,75	0,18	63	•	•	•	•	706,49
AXIAL 6-630M 30	AX6063M30	630	9.500	1,90	0,25	69	•	•	•	•	720,89
AXIAL 6-630M 40	AX6063M40	630	12.000	3,30	0,37	70	•	•	•	•	819,25
AXIAL 6-630M 45	AX6063M45	630	13.000	4,70	0,55	73	•	•	•	•	835,84
AXIAL 6-710M 30	AX6071M30	710	12.500	3,30	0,37	73	•	•	•	•	845,10
AXIAL 6-710M 34	AX6071M34	710	15.000	4,70	0,55	75	•	•	•	•	861,22
AXIAL 6-710M 40	AX6071M	710	17.500	6,00	0,75	74	•	•	•	•	874,40
AXIAL 6-710M 45	AX6071M45	710	21.000	8,00	1,10	77	•	•	•	•	925,64
AXIAL 6-800M 30	AX6080M30	800	22.000	6,00	0,75	74	•	•	•	•	907,29
AXIAL 6-800M 34	AX6080M34	800	26.350	8,00	1,10	75	•	•	•	•	919,39

ACCESORIOS

Regulación



(de pg. 180 a 183)

Accesorios equipos



DS (pg. 186)



PG (pg. 186)



PS (pg. 187)

400V 50Hz (III~) 900 r.p.m. (n: min-1) Ø 400 - 1.000 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 6-400T 30	AX6040T30	400	2.300	0,80	0,09	55	•	•	•	•	389,32
AXIAL 6-400T 40	AX6040T40	400	3.200	0,80	0,09	58	•	•	•	•	394,10
AXIAL 6-400T 45	AX6040T	400	4.200	0,80	0,09	59	•	•	•	•	404,62
AXIAL 6-450T 30	AX6045T30	450	3.500	0,85	0,12	59	•	•	•	•	488,31
AXIAL 6-450T 40	AX6045T40	450	4.500	0,85	0,12	62	•	•	•	•	501,03
AXIAL 6-450T 45	AX6045T45	450	5.400	0,85	0,12	63	•	•	•	•	504,66
AXIAL 6-500T 30	AX6050T30	500	4.300	0,85	0,18	62	•	•	•	•	530,28
AXIAL 6-500T 34	AX6050T34	500	5.400	0,85	0,18	63	•	•	•	•	570,13
AXIAL 6-500T 40	AX6050T	500	6.200	0,85	0,18	65	•	•	•	•	585,08
AXIAL 6-560T 30	AX6056T30	560	7.000	0,85	0,18	65	•	•	•	•	618,79
AXIAL 6-560T 34	AX6056T34	560	8.400	0,85	0,18	67	•	•	•	•	650,09
AXIAL 6-560T 40	AX6056T	560	9.300	1,02	0,25	68	•	•	•	•	659,37
AXIAL 6-560T 45	AX6056T45	560	10.800	1,41	0,37	70	•	•	•	•	677,22
AXIAL 6-630T 24	AX6063T24	630	8.100	0,85	0,18	63	•	•	•	•	688,07
AXIAL 6-630T 30	AX6063T30	630	9.500	1,02	0,25	69	•	•	•	•	706,18
AXIAL 6-630T 40	AX6063T	630	12.000	1,41	0,37	70	•	•	•	•	744,13
AXIAL 6-630T 45	AX6063T45	630	13.000	1,70	0,55	73	•	•	•	•	756,89
AXIAL 6-710T 30	AX6071T30	710	12.500	1,41	0,37	73	•	•	•	•	838,56
AXIAL 6-710T 34	AX6071T34	710	15.000	1,70	0,55	75	•	•	•	•	840,47
AXIAL 6-710T 40	AX6071T	710	17.500	2,21	0,75	74	•	•	•	•	845,10
AXIAL 6-710T 45	AX6071T45	710	21.000	2,93	1,10	77	•	•	•	•	910,12
AXIAL 6-800T 24	AX6080T24	800	15.100	1,41	0,37	71	•	•	•	•	822,56
AXIAL 6-800T 30	AX6080T	800	18.800	2,21	0,75	74	•	•	•	•	831,41
AXIAL 6-800T 40	AX6080T40	800	26.500	2,93	1,10	75	•	•	•	•	1.175,49
AXIAL 6-800T 45	AX6080T45	800	29.900	3,80	1,50	78	•	•	•	•	1.181,89
AXIAL 6-900T 30	AX6090T30	900	21.600	2,21	0,75	78	•	•	•	•	1.188,72
AXIAL 6-900T 34	AX6090T34	900	26.800	2,93	1,10	78	•	•	•	•	1.195,87
AXIAL 6-900T 40	AX6090T40	900	32.000	3,80	1,50	80	•	•	•	•	1.284,63
AXIAL 6-900T 45	AX6090T45	900	37.700	5,22	2,20	81	•	•	•	•	1.471,46
AXIAL 6-1000T 24	AX6100T	1.000	29.700	2,93	1,10	79	•	•	•	•	1.248,19
AXIAL 6-1000T 30	AX6100T30	1.000	36.700	5,22	2,20	81	•	•	•	•	1.457,97
AXIAL 6-1000T 34	AX6100T34	1.000	43.900	6,90	3,00	81	•	•	•	•	1.662,37
AXIAL 6-1000T 40	AX6100T40	1.000	51.600	8,70	4,00	83	•	•	•	•	1.941,01

400V 50Hz (III~) 700 r.p.m. (n: min-1) Ø 800 - 1.000 mm

		Ø mm	m³/h	A	kW	dB (A)	ACCESORIOS				Precio €
								DS	PG	PS	
AXIAL 8-800T 30	AX8080T	800	15.700	1,60	0,37	68	•	•	•	•	792,27
AXIAL 8-800T 34	AX8080T34	800	18.800	2,35	0,55	69	•	•	•	•	968,32
AXIAL 8-800T 45	AX8080T45	800	25.000	3,35	1,10	72	•	•	•	•	1.309,68
AXIAL 8-900T 24	AX8090T	900	18.100	1,60	0,37	71	•	•	•	•	1.290,65
AXIAL 8-900T 30	AX8090T30	900	22.300	2,55	0,75	73	•	•	•	•	1.340,01
AXIAL 8-900T 34	AX8090T34	900	26.700	3,35	1,10	73	•	•	•	•	1.677,99
AXIAL 8-900T 45	AX8090T45	900	35.500	4,50	1,50	76	•	•	•	•	2.141,86
AXIAL 8-1000T 24	AX8100T	1.000	24.800	2,55	0,75	74	•	•	•	•	1.395,92
AXIAL 8-1000T 30	AX8100T30	1.000	30.600	3,35	1,10	79	•	•	•	•	1.710,22
AXIAL 8-1000T 34	AX8100T34	1.000	36.600	4,50	1,50	79	•	•	•	•	2.268,18
AXIAL 8-1000T 40	AX8100T40	1.000	43.100	6,00	2,20	81	•	•	•	•	2.531,93

ACCESORIOS

Regulación

Accesorios equipos



(de pg. 180 a 183)



DS (pg. 186)



PG (pg. 186)



PS (pg. 187)



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo XI

CUADERNO 11: DISEÑO DE LA PLANTA ELÉCTRICA



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA	2
2 Introducción	4
3 Definición de la planta eléctrica.....	6
3.1 Frecuencia y tensión.....	6
3.2 Características.....	7
4 desglose y características de los consumidores.....	10
4.1 Generalidades	10
4.2 Sistemas de cámara máquinas	11
4.3 Equipos y servicios	12
4.4 Sistema de iluminación	14
4.4.1 Generalidades	14
4.4.2 Cálculo de alumbrado principal.....	15
4.4.3 Cálculo del alumbrado de emergencia.....	18
5 Balance eléctrico.....	20
5.1 Generalidades	20
5.2 Justificación de los coeficientes	22
5.2.1 Sistema de propulsión	22
5.2.2 Auxiliares de los grupos generadores	23
5.2.3 Equipos y servicios del buque.....	24
5.3 Cálculo.....	24
5.3.1 Condición de navegación a la velocidad de servicio	25
5.3.2 Condición de maniobra	28
5.3.3 Condición de puerto.....	32
5.3.4 Condición de Retorno Seguro a Puerto	36
5.3.5 Condición de emergencia	40
5.4 Resultados finales.....	45
6 Planta generadora	46
6.1 Generadores principales	46
6.2 Planta generadora de emergencia	49
7 Diagrama unifilar y configuración de la planta eléctrica.....	50
8 Cables.....	51
8.1 Tipología y dimensionado de cables	51
Anexo XI.I: Catálogo grupo generador y grupo generador de emergencia	55

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es definir la planta eléctrica del buque. Para ello se hará un desglose de los consumidores del buque y posteriormente se llevará a cabo el balance eléctrico que nos permitirá conocer la situación más desfavorable a la que se ve sometida la planta eléctrica para, finalmente, poder seleccionar los generadores que se ajusten mejor a los requisitos del buque.

Para poder realizar este cuaderno nos basaremos en los datos y parámetros obtenidos previamente:

Tabla 1: Resumen parámetros buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos

Para el desglose de los consumidores partiremos de los sistemas calculados en los cuadernos 6, 10 y 12.

Como establece la RPA el buque se proyectará para navegar a 16 nudos con una autonomía de 6000 millas dotado de propulsión diésel eléctrica. Aunque la RPA no lo especifica, se ha proyectado el buque para que opere a al 85% del MCR (Maximum Continuous Rating). El diseño de los alternadores y la planta eléctrica debe equilibrarse entre la elección del voltaje y frecuencia, la disponibilidad de potencia reactiva, el nivel de cortocircuito y la distorsión armónica total permitida (THD). Por otro lado, el hecho de emplear un motor propulsor diésel eléctrico fundamentado en convertidores de potencia, generará la necesidad de limitar los armónicos, por tanto, separar estos equipos de las cargas lineales o inductivas del resto de equipos.

Con el fin de llevar a cabo la definición de la planta eléctrica se seguirán unas reglas y prescripciones de referencia, que son las siguientes:

- Normas UNE 21135-XXX – CEI 60092-XXX
- Convenio SOLAS
- Reglamento de la Sociedad de Clasificación correspondiente, que en este caso es el DNV-GL “Pt.4 Ch. 8: Electrical installations.

El DNV establece las condiciones de diseño y servicio:

- En relación con la inclinación del buque:

Table 3 List, rolling, trim and pitch ¹⁾

Installations, components	Angle of inclination (degrees) ²⁾			
	Athwartships		Fore and aft	
	Static	Dynamic	Static	Dynamic
Main and auxiliary machinery	±15	0 ± 22.5	±5 ⁵⁾	0 ± 7.5
Safety equipment, e.g. emergency power installations, emergency fire pumps and their devices, switch gear, electrical and electronic appliances ³⁾ and remote control systems	±22.5 ⁴⁾	0 ± 22.5 ⁴⁾	±10 ⁵⁾	0 ± 10

Figura 1: Condiciones de diseño en relación con la inclinación del buque. DNV.

- En relación con las vibraciones: La maquinaria, los componentes y los sistemas cubiertos por las reglas se construirán para resistir, sin mal funcionamiento, los niveles de vibración externa a los que pueden estar expuestos a bordo del barco. Un nivel de vibración definido por una amplitud de velocidad máxima de 20 mm/s en el rango de frecuencia de 5 a 50 Hz se considera como un mínimo. Se pueden requerir niveles de tolerancia más altos. (DNV-GL Pt. 4 Ch.1 Sec. 3)
- En relación con la temperatura:

Installations, components	Location, arrangement	Temperature range [°C]
Machinery and electrical installations ²⁾	In enclosed spaces	0 to 45 ¹⁾
	On machinery components, boilers	According to specific local conditions
	In spaces, subject to higher or lower temperatures	
	On the open deck	-25 to +45 ¹⁾
1) The Society may approve other temperatures in the case of ships not intended for unrestricted service. 2) See Ch.9 Sec.5 for electronic appliances.		

Figura 2: Condiciones de diseño en relación con la temperatura. DNV.

- En relación con los grados de protección: dependerán de la localización y están establecidos en el “DNV-GL Pt. 4 Ch. 8 Sec. 10 Table 1”

3 DEFINICIÓN DE LA PLANTA ELÉCTRICA

En este apartado se definirán las características de la planta eléctrica incluyendo frecuencia, voltaje y tipología.

3.1 Frecuencia y tensión

Los condicionantes de frecuencia vendrán marcados principalmente por el país o las aguas en las que opera. Por otro lado, la tensión escogida vendrá marcada por la potencia total consumida.

Debido a la serie de ventajas que presenta se opta por la instalación de una red trifásica alterna. Las ventajas se exponen a continuación:

- Posibilidad de conectarse a la red de puerto
- Mayor robustez, menor coste, mantenimiento más sencillo y menor peso y empacho de los motores y generadores.
- Permiten el uso de tensión más elevada
- Ahorro considerable en la sección de los conductores a la hora de transportar la energía eléctrica.
- No exigen un control tan elevado de la velocidad de régimen

La frecuencia de generación de la corriente eléctrica influye en los generadores, en la velocidad de giro de los motores eléctricos, su peso, su empacho, así como en la geometría de los conductores. La frecuencia establecida determinará la compatibilidad con los equipos disponibles y con las redes externas. Por tanto, considerando que el buque está destinado a navegar por el mar Mediterráneo se escogerá una tipología de red trifásica con una frecuencia nominal de 50 Hz que es la empleada en Europa.

Un aumento de la tensión de servicio conlleva una disminución de la intensidad que circula por la red, esto a su vez, implica una sección menor de los cables y tamaño de los equipos para una potencia dada, consiguiendo un ahorro en coste y peso. El aumento de la tensión de trabajo también implica un aumento del riesgo eléctrico y una limitación de la protección eléctrica. Como ya se ha dicho, el mayor condicionante para la selección del voltaje es la potencia total consumida, que en este caso está condicionada por la propulsión diésel eléctrica.

Total installed alternator power	Voltage	Breaking capacity of CB
< 10 – 12 MWe (and: Single propulsion motor < 3,5 MW)	400 V 480 V	100 kA
< 13 – 15 MWe (and: Single propulsion motor < 4,5 MW)	690 V	100 kA
< 48 MWe	6600 V	30 kA
< 130 MWe	11000 V	50 kA

Figura 3: Voltajes en función de la potencia instalada. ABB.

Basándonos en el buque de referencia que tiene una potencia total instalada de 14.4 MW, la tensión necesaria en el alternador es de 690V. Sin embargo, para evitar cables de sección de gran magnitud que imposibilitaría su instalación en el buque, se decide instalar una tensión de 3000V. Por lo que el buque constará con tres tipos de tensión:

- 3000V para alimentar a los consumidores de mayor potencia
- 400V para alimentar el resto de consumidores
- 230V para alimentar el alumbrado y los pequeños consumidores de baja tensión

Para transformar la tensión para los diferentes consumidores del buque, se emplearán transformadores los cuales veremos posteriormente.

3.2 Características

La RPA establece que la planta propulsora será de tipo diésel-eléctrica con propulsores azimutales. Esto conlleva que la planta eléctrica debe abastecer a todos los consumidores del buque, incluyendo la propulsión que supondrá el mayor consumidor a bordo.

La propulsión diésel-eléctrica se caracteriza por la existencia de uno o varios grupos generadores formados por un motor más un alternador capaz de generar la energía eléctrica que alimenta a un motor propulsor eléctrico al que estará acoplada, mediante una caja de reductoras o no, una hélice. Las ventajas más sonadas de la propulsión diésel eléctrica son las siguientes:

- En el principio de la planta diésel eléctrica no existe ninguna conexión mecánica directa entre el motor y la hélice, lo que da más flexibilidad para la disposición y la situación de la maquinaria, que se puede reorganizar, y conseguir más espacio para los camarotes o el cargamento. Esto aumenta la flexibilidad y productividad del barco.
- Mejora el costo del ciclo de vida al reducir el consumo de combustible y el mantenimiento, especialmente cuando hay un gran variación en la demanda de carga.
- Reduce las emisiones contaminantes. Los motores diésel no tienen el mismo nivel de contaminación en todo su rango de trabajo. En el régimen óptimo de operación, el rendimiento del combustible es considerablemente mayor y la contaminación es menor que operando a baja velocidad.
- Las reservas de energía se pueden compartir con el suministro de los servicios a bordo del barco, de modo que decrece la potencia total instalada y al mismo tiempo aumenta la fiabilidad.
- En una planta diésel-eléctrica, el motor de propulsión puede proporcionar en todo momento el par requerido en todo el rango de velocidades por lo resulta ideal para impulsar una hélice de paso fijo.
- Mejora de la maniobrabilidad mediante la utilización de propulsores azimutales capaces de girar 360°.
- Menos ruido de propulsión y vibraciones, ya que las líneas del eje giratorio son más cortas, los motores primarios funcionan a velocidad fija y el uso de hélices de tracción proporciona menos cavitación debido a un flujo de agua más uniforme.

La potencia necesaria para la propulsión del buque a las condiciones de servicio establecidas en la RPA se calculó previamente en el cuaderno 6, lo cual permitió la selección del motor eléctrico capaz de aportar dicha potencia. Se decidió la instalación del sistema de propulsión Azipod de ABB que consiste en un sistema de propulsión orientable sin reductoras donde el motor de accionamiento eléctrico, síncrono de imanes permanentes, se encuentra en una cápsula sumergida fuera del casco del barco y acciona una hélice de paso fijo que se monta directamente sobre el eje del motor, por tanto, no llevan reductoras.

El buque dispondrá de dos hélices a popa por lo cual irá provisto de 2 motores eléctricos. El motor seleccionado es el modelo CO1250 que ofrece una potencia de salida entre 2000 y 3800 kW y a una velocidad de giro entre 150 y 350 rpm.

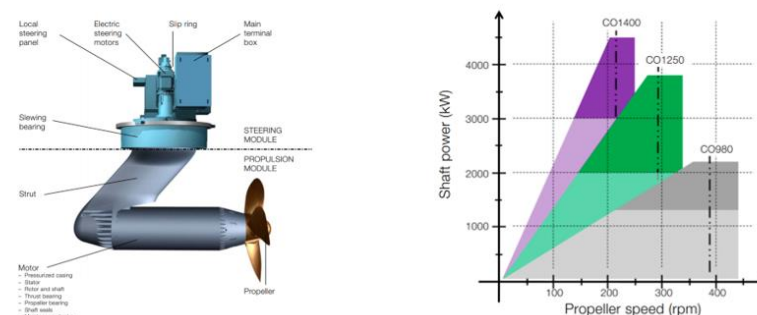


Figura 4: Características AziPod. ABB.

En la siguiente imagen sacada del catálogo de ABB se muestra un diagrama unifilar simplificado de la planta eléctrica del sistema de propulsión, en la que figuran los elementos que la conforman:

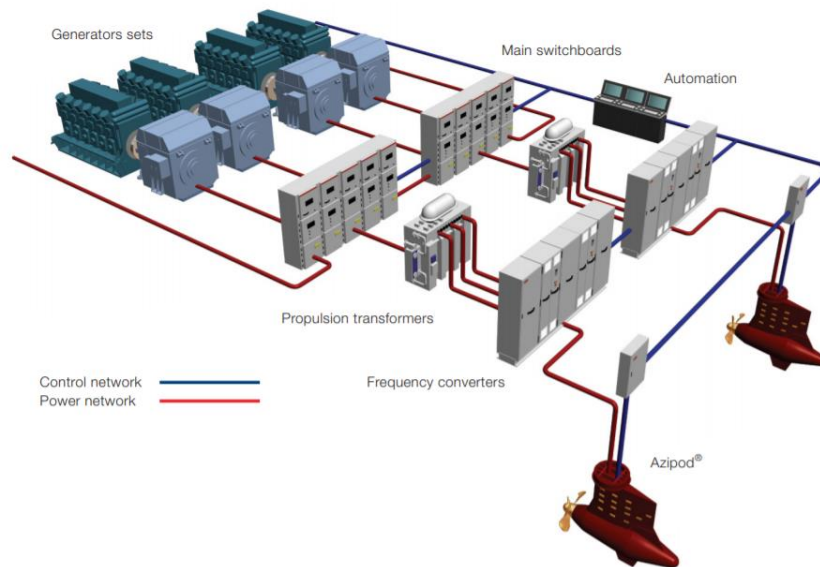


Figura 5: Diagrama unifilar simplificado del sistema de propulsión. ABB.

Los elementos que conforman la planta propulsora son los siguientes:

- GenSets o grupo generadores formados por un motor principal de cuatro tiempos más un alternador capaz de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética. Los grupos generadores irán divididos en dos cámara de máquinas separadas por mamparos de clase A con el fin de cumplir los requisitos del “Safe Return to Port” impuestos por el SOLAS para buques de pasaje con más de 120 metros de eslora. La capacidad de los grupos generadores debe ser tal que es capaz de suministrar potencia a todos los consumidores del buque, tanto a la propulsión y sus auxiliares como al resto de sistemas y equipos (HVAC, medios de fonda y hotel, lastre y achique de sentinas...).
- Cuadro de distribución principal con un disyuntor del tipos “bus tie breaker” para evitar que la caída de uno de los lados de la planta afecte a todo el conjunto.
- Convertidores de frecuencia que pueden ser del tipo ACS 800 Propulsion Power Drive del mismo fabricante que las hélices, ABB. La selección del convertidor se lleva a cabo siguiendo las indicaciones del propio fabricante. Los convertidores de frecuencia son los dispositivos encargados de variar la velocidad de la hélice para que se ajuste a las condiciones de la navegación.

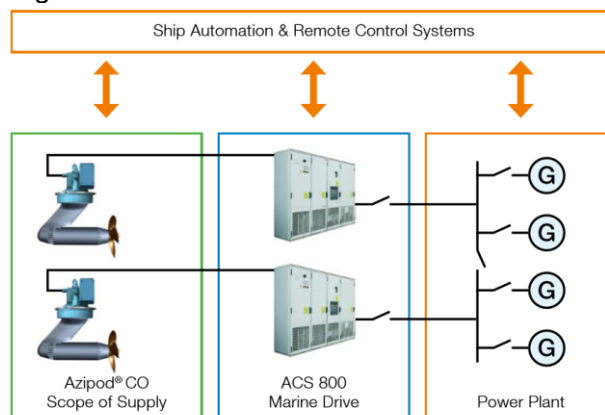


Figure 1-3 Simplified single line diagram of the power plant with a propulsion system.

Figura 6: Convertidores de frecuencia. ABB.

- Transformadores de suministro
- AziPods

Cabe mencionar, que el régimen del neutro será asilado (IT). Este régimen se caracteriza por que el neutro no está conectado a tierra o está conectado a ella a través de una impedancia muy elevada (“neutro impedante”) y las tomas de tierra de las masas están interconectadas a través de un conductor de protección. Las ventajas de este régimen del neutro son las siguientes:

1. Localización de fallos durante el servicio. En caso de fallo de aislamiento, este puede ser localizado mientras la instalación está en servicio.
2. Sin desconexión. Incluso en caso de fallo de aislamiento, la instalación puede seguir funcionando sin problemas.
3. Mayor protección de las personas. Al reducirse las corrientes de fallo, se evita el riesgo de descargas eléctricas.
4. Menores costes de comprobación. Las verificaciones periódicas no requieren de una desconexión y dejan de ser necesarias las comprobaciones de la protección diferencial y la medida del aislamiento.
5. Mayor protección contra incendios. La vigilancia permanente del aislamiento prescrita reduce el peligro de incendio y puede reducir los costes del seguro.

Se instalará un sistema de localización de fallos (IFLS, por sus siglas en inglés), para ser capaz de localizar rápidamente los fallos en el sistema IT.

4 DESGLOSE Y CARACTERÍSTICAS DE LOS CONSUMIDORES

4.1 Generalidades

Para poder llevar a cabo el balance eléctrico y determinar el consumo, es necesario conocer las características de los equipos y motores eléctricos empleados. Para ello se llevará a cabo un desglose de los consumidores definidos y calculados previamente en los cuadernos 10 de “Cámara de Máquinas” y en el cuaderno 12 de “Equipos y servicios”.

En el caso de los motores eléctricos, como los de las bombas accionadas eléctricamente, sin control mediante convertidores de potencia se han empleado las potencias y eficiencias normalizadas que se muestran en la siguiente tabla definida en la norma internacional de la Comisión Electrotécnica Internacional IEC 60034-30-1.

Nominal efficiency limits defined in IEC 60034-30-1:2014 (reference values at 50 Hz, based on test methods specified in IEC 60034-2-1:2014).

Out-put kW	IE1 Standard efficiency				IE2 High efficiency				IE3 Premium efficiency				IE4 Super Premium efficiency			
	2 pole	4 pole	6 pole	8 pole	2 pole	4 pole	6 pole	8 pole	2 pole	4 pole	6 pole	8 pole	2 pole	4 pole	6 pole	8 pole
0.12	45.0	50.0	38.3	31.0	53.6	59.2	50.6	39.8	60.8	64.8	57.7	50.7	66.5	69.8	64.9	62.3
0.18	52.8	57.0	45.5	38.0	60.4	64.1	56.6	45.9	65.9	69.9	63.9	58.7	70.8	74.7	70.1	67.2
0.20	54.6	58.5	47.6	39.7	61.9	65.9	58.2	47.4	67.2	71.1	65.4	60.6	71.9	75.8	71.4	68.4
0.25	58.2	61.5	52.1	43.4	64.8	68.5	61.6	50.6	69.7	73.5	68.6	64.1	74.3	77.9	74.1	70.8
0.37	63.9	66.0	59.7	49.7	69.5	72.7	67.6	56.1	73.8	77.3	73.5	69.3	78.1	81.1	78.0	74.3
0.40	64.9	66.8	61.1	50.9	70.4	73.5	68.8	57.2	74.6	78.0	74.4	70.1	78.9	81.7	78.7	74.9
0.55	69.0	70.0	65.8	56.1	74.1	77.1	73.1	61.7	77.8	80.8	77.2	73.0	81.5	83.9	80.9	77.0
0.75	72.1	72.1	70.0	61.2	77.4	79.6	75.9	66.2	80.7	82.5	78.9	75.0	83.5	85.7	82.7	78.4
1.1	75.0	75.0	72.9	66.5	79.6	81.4	78.1	70.8	82.7	84.1	81.0	77.7	85.2	87.2	84.5	80.8
1.5	77.2	77.2	75.2	70.2	81.3	82.4	79.8	74.1	84.2	85.3	82.5	79.7	86.5	88.2	85.9	82.6
2.2	79.7	79.7	77.7	74.2	83.2	84.1	81.8	77.6	85.9	86.7	84.3	81.9	88.0	89.5	87.4	84.5
3	81.5	81.5	79.7	77.0	84.6	85.3	83.3	80.0	87.1	87.7	85.6	83.5	89.1	90.4	88.6	85.9
4	83.1	83.1	81.4	79.2	85.8	86.6	84.6	81.9	88.1	88.6	86.8	84.8	90.0	91.1	89.5	87.1
5.5	84.7	84.7	83.1	81.4	87.0	87.7	86.0	83.8	89.2	89.6	88.0	86.2	90.9	91.9	90.5	88.3
7.5	86.0	86.0	84.7	83.1	88.1	88.7	87.2	85.3	90.1	90.4	89.1	87.3	91.7	92.6	91.3	89.3
11	87.6	87.6	86.4	85.0	89.4	89.9	88.7	86.9	91.2	91.4	90.3	88.6	92.6	93.3	92.3	90.4
15	88.7	88.7	87.7	86.2	90.3	90.8	89.7	88.0	91.9	92.1	91.2	89.6	93.3	93.9	92.9	91.2
18.5	89.3	89.3	88.6	86.9	90.9	91.2	90.4	88.6	92.4	92.6	91.7	90.1	93.7	94.2	93.4	91.7
22	89.9	89.9	89.2	87.4	91.3	91.6	90.9	89.1	92.7	93.0	92.2	90.6	94.0	94.5	93.7	92.1
30	90.7	90.7	90.2	88.3	92.0	92.3	91.7	89.8	93.3	93.6	92.9	91.3	94.5	94.9	94.2	92.7
37	91.2	91.2	90.8	88.8	92.5	92.7	92.2	90.3	93.7	93.9	93.3	91.8	94.8	95.2	94.5	93.1
45	91.7	91.7	91.4	89.2	92.9	93.1	92.7	90.7	94.0	94.2	93.7	92.2	95.0	95.4	94.8	93.4
55	92.1	92.1	91.9	89.7	93.2	93.5	93.1	91.0	94.3	94.6	94.1	92.5	95.3	95.7	95.1	93.7
75	92.7	92.7	92.6	90.3	93.8	94.0	93.7	91.6	94.7	95.0	94.6	93.1	95.6	96.0	95.4	94.2
90	93.0	93.0	92.9	90.7	94.1	94.3	94.0	91.9	95.0	95.2	94.9	93.4	95.8	96.1	95.6	94.4
110	93.3	93.3	93.3	91.1	94.3	94.5	94.3	92.3	95.2	95.4	95.1	93.7	96.0	96.3	95.8	94.7
132	93.5	93.5	93.5	91.5	94.6	94.7	94.6	92.6	95.4	95.6	95.4	94.0	96.2	96.4	96.0	94.9
160	93.8	93.8	93.8	91.9	94.8	94.9	94.8	93.0	95.6	95.8	95.6	94.3	96.3	96.6	96.2	95.1
200	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.3	95.4
250	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.5	95.4
315	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4
355	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4
400	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4
450	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4
500-1000	94.0	94.0	94.0	92.5	95.0	95.1	95.0	93.5	95.8	96.0	95.8	94.6	96.5	96.7	96.6	95.4

Figura 7: Eficiencia motores. IEC 60034-30-1.

Se considerarán motores eléctricos de 4 polos trabajando a 50 Hz y de alta eficiencia (IE2 High efficiency).

Para aquellos equipos calculados en los cuadernos 10 y 12, se considerará la potencia calculada u obtenida a partir de los catálogos comerciales de los fabricantes.

Se clasificarán los consumidores del buque en las siguientes categorías:

- Sistemas de cámara de máquinas (calculados en los cuadernos 6 y 10)
 - Servicio de propulsión
 - Sistema de Refrigeración
 - Sistema de combustible
 - Sistema de lubricación
- Equipos y servicios (calculados en el cuaderno 12)
- Sistema de iluminación
 - Alumbrado principal
 - Alumbrado de emergencia

4.2 Sistemas de cámara máquinas

Los consumidores del sistema de cámara de máquinas se han calculado previamente y puede dividirse en dos bloques. Por un lado, están los equipos destinados a la propulsión que, como ya se ha visto anteriormente en el cuaderno 6, constan de dos motores eléctricos que deben proporcionar una potencia de 3323 kW cada uno para hacer frente a la resistencia al avance que sufre el buque y poder operar a la velocidad de servicio establecida en la RPA. El rendimiento total de la planta eléctrica se calcula siguiendo las recomendaciones de MAN que será el proveedor de los grupos generadores.

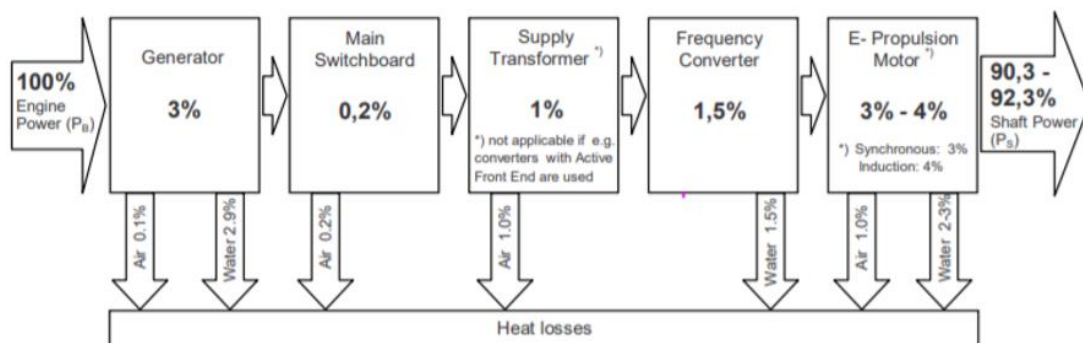


Figura 8: Eficiencias elementos planta propulsora. MAN.

Se considerará el empleo de un convertidor de frente activo del tipo ACS 800 Propulsion Power Drive con una eficiencia del 98% (dato obtenido del catálogo del convertidor) que no requiere transformador de suministro. El motor propulsor es de tipo síncrono por lo que se tomarán unas pérdidas del 3% y se considerará una eficiencia del generador del 96.5% (en base al catálogo de los GenSets de MAN). El rendimiento total de la planta propulsora resulta del 92%.

El otro bloque está formado por los equipos auxiliares de la propulsión que incluyen los equipos necesarios para la refrigeración, lubricación, el tratamiento y suministro de combustible y el arranque de los motores principales. Estos componentes fueron identificados y calculados en el cuaderno 10.

A continuación, se muestra una tabla con todos los consumidores del sistema de cámara de máquinas.

Tabla 2: Consumidores auxiliares de la propulsión

GRUPO	DISPOSICIÓN				POTENCIA UNITARIA (Kw)				POTENCIA TOTAL (kW)
	SERVICIO	NUMERO	ELEMENTO	CANTIDAD (N)	Putil calc.	Putil norm.	ηe	Pabs	N°Pabs
					Kw				
PROPULSION	1. PROPULSION	1	Motor propulsor	2	3800	--	0,920238	4129,367	8258,734539
					TOTAL				8258,7
AUXILIARES DE LA PROPULSION	2. REFRIGERACION	3	Bomba agua salada	4	27,1	30,0	92%	29,5	117,8
		4	Bomba agua dulce LT	4	24	30,0	92,0%	26,09	104,3
		5	Bomba precalent.	4	1,635	2,2	84,3%	1,9	7,8
					TOTAL				229,9
		8	Bomba prefabricación	4	2,90	3,0	85,5%	3,4	13,6
		9	Separador de aceite	4	0,75	0,75	--	0,75	0,75
		11	Bomba de trasiego de aceite lubricante	4	0,9	1,1	81%	1,1	4,4
					TOTAL				18,7
	4. COMBUSTIBLE	12	Bomba suministro MDO	4	4	4,0	86,6%	4,6	18,5
		13	Bomba trasiego MDO	2	18	18,5	91,2%	19,7	39,5
		14	Separador de combustible diésel	2	1,4	1,5	82,8%	1,7	3,4
		15	Bomba alimentación separador diésel	2	1,5	1,5	82,8%	1,8	3,6
					TOTAL				65,0
	5. AIRE COMPRIMIDO	17	Compresor de aire de arranque	2	9,6	--	--	9,6	19,2
					TOTAL				19,2
					TOTAL				8591,552922

4.3 Equipos y servicios

A pesar de la propulsión que es el mayor consumidor a bordo, también son necesarios otros equipos y sistemas para que el buque pueda operar satisfactoriamente. Estos equipos y sistemas, calculados en el cuaderno 12.

Estos sistemas son de origen muy diversa y cumplen diferentes objetivos. En la siguiente tabla se muestran todos los sistemas identificados y los equipos por los que están formados, incluyendo su requerimiento de potencia. El consumo unitario se obtuvo a partir de la tabla de potencias normalizadas vista previamente o a partir directamente de los catálogos de los comerciantes como se señaló en el cuaderno de "Sistemas Auxiliares de buque".

Los consumos de los equipos correspondientes al apartado hotel y fonda se han obtenido del catálogo comercial de la empresa Fagor.

Tabla 3: Consumidores auxiliares del buque

GRUPO	DISPOSICIÓN				POTENCIA UNITARIA (Kw)				POTENCIA TOTAL (Kw)
	SERVICIO	NUMERO	ELEMENTO	CANTIDAD (N)	Potil.cál.	Potil.norm.	ng	Pabs	N°Pabs
					Kw				
AUXILIARES DEL BUQUE	6. SENTINAS	38	Bomba de sentinas	4	11,5	15,0	90,6%	12,7	50,9
		39	Separador de sentinas	1	6	--	--	6,0	6,0
					TOTAL				56,9
	7. LASTRE	20	Bomba de lastre	1	7,2	8	88,7%	8,1	8,1
					TOTAL				8,1
	8. CONTRAINCENDIOS	21	Bomba de CI	3	4,2	5,5	87,7%	4,8	14,3
		22	Bomba de CI Emergencia	1	60	75,0	94%	63,8	63,8
					TOTAL				78,1
	9. AGUA SANITARIA	23	Bomba suministro	2	41,2	45,0	93,1%	44,2	88,5
		24	Bomba circulación	2	1,40	1,5	82,8%	1,7	3,4
		25	Calentador	5	40,00	--	--	40,00	200,0
		26	Generador	2	30,0	--	--	30,0	60,0
		27	Planta TAR	1	11	--	--	11,0	11,0
					TOTAL				362,9
	10. VENTILACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO	28	Ventilador CM	4	18,5	--	--	18,5	74,0
		29	Extractor CM	4	5,50	--	--	5,5	22,0
		30	Planta A/C MVZ.1	1	375,00	--	--	375,00	375,0
		31	Planta A/C MVZ.2	1	566,0	--	--	566,00	566,0
		32	Planta A/C MVZ.3	1	439	--	--	439,0	439,0
						TOTAL			1476,0
	11. MEDIOS DE ELEVACIÓN	33	Ascensores	6	5,4	--	--	5,4	32,4
		34	Montacargas	3	0,50	--	--	0,50	1,5
		35	Montaplatos	2	1,1	--	--	1,1	2,2
		36	Grúa	2	5	--	--	5,0	10,0
					TOTAL				46,1
	12. Maniobra	37	Hélice transversal	2	898	500-100	95,1%	902,2	1804,4
					TOTAL				1804,4
	13. HOTEL Y FONDA	38	Cocina eléctrica	4	16,0	--	--	16,0	66,0
		39	Cocina de inducción	2	20,0	--	--	20,0	40,0
		40	Plancha	2	16,00	--	--	16,0	32,0
		41	Parrillas	2	15,00	--	--	15,0	30,0
		42	Cocedores	2	24,00	--	--	24,0	48,0
		43	Marmitas	2	22,00	--	--	22,0	44,0
		44	Horno	4	31,20	--	--	31,2	124,8
		45	Lavavajillas	2	6,20	--	--	6,2	12,4
		46	Freidoras	2	24,00	--	--	24,0	48,0
		47	Washers	8	16,00	--	--	16,0	128,0
		48	Frigorífico	3	2,38	--	--	2,4	7,1
		49	Lavadora	6	22,00	--	--	22,0	132,0
		50	Secadoras	6	55,90	--	--	55,9	335,4
		51	Calentadores	2	14,70	--	--	14,7	29,4
		52	Mesa de repaso	1	6,65	--	--	6,7	6,7
		53	Plegadoras	1	1,07	--	--	1,1	1,1
		54	Trituradora	2	6,60	--	--	6,6	13,2
		55	Incineradora	2	14,70	--	--	14,7	29,4
		56	Equipos varios	1	20,00	--	--	20,0	20,0
		57	Televisores	200	0,20	--	--	0,20	40,0
					TOTAL				1137,5
	14. MANTENIMIENTO Y TALLERES	59	Torno	1	3,5	--	--	3,5	3,5
		60	Taladro	1	1,00	--	--	1,00	1,0
		61	Grupo Soldadura	1	8,0	--	--	8,0	8,0
		62	Rectificadora	1	1	--	--	1,0	1,0
					TOTAL				13,5
	15. CUBIERTA	63	Chigres	4	100,0	110,0	95%	105,8	423,3
		64	Molinetes	2	48,06	55,00	93,5%	51,40	102,8
		65	Pescante botes salvavidas	4	84,00	--	--	84,00	336,0
		66	Pescante botes rescate	2	32,0	--	--	32,0	64,0
		67	Pescante balsas	4	22	--	--	22,0	88,0
					TOTAL				940,6
	16. Control y comunicación	68	Equipos radio	1	5,0	--	--	5,0	5,0
		69		Equipos Navegación	1	6,00	--	--	6,0	6,0
		70		Automatización	1	5,0	--	--	5,0	5,0
		71		Megafonía	1	4,0	--	--	4,0	4,0
		72		Equipos detección de incendios	1	3,0	--	--	3,0	3,0
		73		Puertas estancas	15	19,2	--	--	19,2	19,2
					TOTAL				37,2
					TOTAL				4156,8

4.4 Sistema de iluminación

4.4.1 Generalidades

El sistema de iluminación es aquel que aporta luz a los espacios del buque para garantizar una adecuada iluminación. La luz es la forma de energía que hace visibles los objetos y se trata de una onda electromagnética que se desplaza en el vacío a una velocidad de 3000 km/s. La luz visible para el ojo humano tiene una longitud de onda entre 380 y 770 nm, lo que equivale a una zona muy pequeña del espectro electromagnético.

Existen numerosos parámetros para definir la calidad de la luz y su fuente. El lumen es la unidad del Sistema Internacional de Medidas para medir el flujo luminoso, una medida de la potencia luminosa emitida por la fuente. La intensidad luminosa es la relación entre el flujo emitido por una fuente luminosa y el ángulo sólido en el que se emite y su unidad básica en el Sistema Internacional es la candela. Considerando que no toda la potencia eléctrica se convierte en luz, la eficacia luminosa es la relación existente entre el flujo luminoso en lúmenes emitido por la fuente de luz y la potencia en vatios. Finalmente, el nivel de iluminación cobra una gran importancia debido a que es la que da el confort visual para cada actividad al corresponderse con la relación entre el flujo luminoso y la superficie en la que incide.

El sistema de iluminación del buque estará compuesto por iluminación de tipo led que ofrecen grandes ventajas en comparación la iluminación tradicional de tipo fluorescente. En primer lugar, el uso de led supone una gran ahorro energético y, además, no necesitan balastos para su funcionamiento lo cual implica la eliminación del consumo asociado a estos equipos. Otras ventajas son:

- Dejan de producirse parpadeos intermitentes que pueden resultar molestos
- El flujo luminoso se mantiene constante a lo largo de toda la vida de los tubos
- Disponen de encendido automático
- No incluyen vapor de mercurio en su fabricación, que es un gas contaminante y peligroso
- Tienen mayor resistencia a vibraciones o golpes
- Son desmontables y reparables
- Tiene una excelente direccionalidad de la luz con menor contaminación lumínica
- Alarga la vida de las lámparas

Un factor a tener en cuenta para la elección del sistema de iluminación es la temperatura de color que se define como la sensación que percibe el ojo humano ante una luz blanca. La tonalidad roja implica una sensación de calidez mientras que por otro lado el azul implica frialdad. Se seleccionarán leds blancos de tono neutro.

Por último, el UGR o Índice Unificado de Deslumbramiento nos permite comparar el deslumbramiento que producen las diferentes fuentes de luz, en función de la ubicación, las características del ambiente y del punto de visión de los ocupantes de una estancia. La norma UNE-EN 12464 establece los valores máximos de deslumbramiento para todas las superficies en los espacios de trabajo.

A continuación, procederemos a realizar el cálculo del sistema de alumbrado. Para ello, emplearemos la siguiente ecuación:

$$L = E * S * F_D / F_U$$

Donde,

L: flujo luminoso en lúmenes (Lm)

E: iluminación en luxes

Locales	
Iluminancias (lx)	
Camarotes de pasajeros y oficialidad	200-250
Camarotes de tripulación	150-200
Camarotes de lujo	250-300
Pasillos del pasaje	100-150
Pasillos de la tripulación	100-150
Locales de reunión	100-150
Locales de reunión:	
Pasaje	200-400
Tripulación	120-250
Locales sanitarios	200-250
Locales de servicios	250-300
Enfermería	500-1000
Puentes de paseo y puentes descubiertos	20-40
Puentes de botes	10-20
Salas de máquinas	300-450
Puestos de maniobra	500-750
Salas de calderas	250-350
Bocas de calderas	500-750
Túneles y compartimientos < 200 m³	100-150
Talleres de montaje y precisión	1000-2000
Talleres de maquinaria	500-1000
Salas de dibujo	750-1500
Oficinas normales	400-750
Salas de espera, archivos, etc...	75-150

S: superficie a iluminar en m²

$F_D = 2$: factor de suciedad. Se toma un valor medio

$F_U = 0.5$: Factor de utilización. Se toma el valor para alumbrado directo.

Para calcular la potencia eléctrica consumida es necesario considerar el rendimiento de las lámparas (η):

$$P = \frac{L}{\eta} \text{ kW}$$

El cálculo del alumbrado se desglosará en los siguientes sistemas:

- Alumbrado principal: consiste en el sistema de alumbrado general del buque alimentado por los grupos generadores principales que deben de garantizar una correcta iluminación en todos los compartimentos del buque, tanto de tripulación como de pasaje.
- Alumbrado de emergencia: sistema de alumbrado alimentado con el generador de emergencia que debe funcionar cuando caen los grupos generadores principales. Debe de garantizar una mínima iluminación de todos los espacios necesarios del buque, así como todo el alumbrado necesario para la comunicación y navegación.

4.4.2 Cálculo de alumbrado principal

Para el cálculo del alumbrado principal se empleará la fórmula previamente descrita y se tomarán todas las medidas de superficie de los planos de la disposición general que se pueden encontrar en el Cuaderno 7.

También se considerará un rendimiento luminoso de las lámparas Led de 150 lm/W. Los resultados obtenidos son los que aparecen en la siguiente tabla:

Cubierta 1				
Local	E	S	L	P(kW)
Cámara de Máquinas	400	560	896000	5,97
Local Agua Sanitaria	250	200	200000	1,33
Local Trat. Residuos	250	210	210000	1,40
Local Eq. Aux.	250	167	167000	1,11
Local Eq. C.I.	250	170	170000	1,13
Taller	1000	116	464000	3,09
Local Propulsores	300	139	166800	1,11
Total				15,16

Cubierta 2				
Local	E	S	L	P(kW)
Sala Eq. Eléctricos	400	330	528000	3,52
Cámara de Máquinas	400	624	998400	6,66
Camarotes Tripulación	200	572	457600	3,05
Pasillos Tripulación	100	437,5	175000	1,17
Lavandería	250	78,5	78500	0,52
Sala de estar Tripulación	50	123	24600	0,16
Paños	150	164	98400	0,66
Total				15,74
Cubierta 3				
Local	E	S	L	P(kW)
Comedores	250	209	209000	1,39
Cocina	250	223	223000	1,49
Gambuzas	250	196,6	196600	1,31
Aseos	250	18	18000	0,12
Camarotes Pasajes	250	631,4	631400	4,21
Pasillos Pasaje	150	433	259800	1,73
Pasillos Tripulación	100	137	54800	0,37
Hospital	750	108	324000	2,16
Camarotes Oficiales	250	132	132000	0,88
Sala de estar Oficiales	250	82,7	82700	0,55
Paños	150	30	18000	0,12
Total				14,33
Cubierta 4				
Local	E	S	L	P(kW)
Restaurante	300	540	648000	4,32
Recepción	300	362	434400	2,90
Paños	150	197	118200	0,79
Camarotes Pasaje	250	1187,8	1187800	7,92
Pasillos Pasaje	150	260	156000	1,04
Aseos	250	22	22000	0,15
Total				17,11
Cubierta 5				
Local	E	S	L	P(kW)
Bar	300	460	552000	3,68
Aseos	250	37	37000	0,247
Camarotes Pasaje	250	1302,6	1302600	8,684
Pasillos Pasaje	150	224	134400	0,896
Paños y almacén	150	161	96600	0,644
Exterior	20	646	51680	0,34
Total				14,50

Tabla 4: Cálculo alumbrado por cubiertas.

Cubierta 6				
Local	E	S	L	P(kW)

Restaurante	300	130	156000	1,04
Tienda	300	65	78000	0,52
Cocina	250	52	52000	0,35
Camarotes Pasaje	250	1219	1219000	8,13
Pasillos Pasaje	338	320	432640	2,88426667
Paños y almacén	150	44	26400	0,18
Exterior	20	530	42400	0,28

Total 13,38

Cubierta 7				
Local	E	S	L	P(kW)
Bar	300	300	360000	2,4
Casino	300	110	132000	0,88
Aseos	250	24	24000	0,16
Camarotes Pasaje	250	1163	1163000	7,75
Pasillos Pasaje	150	232	139200	0,93
Paños y almacén	150	66	39600	0,26
Exterior	20	265	21200	0,14

Total 12,53

Cubierta 8				
Local	E	S	L	P(kW)
Camarotes Pasaje	250	1107	1107000	7,38
Pasillos Pasaje	150	360	216000	1,44
Paños y almacén	150	38	22800	0,15
Camarotes J.M. y Cap.	250	90	90000	0,6
Puente	600	330	792000	5,28
Aseos	250	8	8000	0,05
Exterior	20	135	10800	0,07

Total 14,98

Cubierta 9				
Local	E	S	L	P(kW)
Discoteca	200	284	227200	1,51
Aseos	250	28	28000	0,19
Zonas de reunión	200	266	212800	1,42
Camarotes Pasaje	250	795	795000	5,3
Pasillos Pasaje	150	165	99000	0,66
Paños y almacén	150	42	25200	0,17
Exterior	20	240	19200	0,13

Total 9,38

Cubierta 10				
Local	E	S	L	P(kW)
Gimnasio	300	273	327600	2,18
Spa	300	322	386400	2,58
Vestuarios	250	48	48000	0,32
Pasillos Tripulación	100	33	13200	0,09
Pasillos Pasaje	150	126	75600	0,50
Exterior	20	350	28000	0,19

Total 5,86

Tras el cálculo se obtiene que la iluminación principal requiere una potencia de 133 kW.

4.4.3 Cálculo del alumbrado de emergencia

En los buques de pasaje debe de existir una red de alumbrado eléctrico de emergencia que como establece el SOLAS cap. II-I en la regla 42, debe proveer de iluminación suficiente a los siguientes espacios:

- Puestos de reunión y en los de embarco y fuera de los costados
- Pasillos escaleras y salidas que den acceso a los puestos de reunión y a los de embarco
- Pasillos, escaleras y salidas de espacios de servicio y de alojamiento, así como en los ascensores destinados al personal
- Espacios de máquinas
- Puestos de control, en las cámaras de mando de máquinas y en cada cuadro de distribución principal y de emergencia
- Pañoles de equipos de bomberos
- Aparato de gobierno
- Bomba C.I., bomba rociadores y en la bomba de emergencia para el achique de sentinas

Al igual que en el apartado anterior, todas las superficies de los espacios se medirán sobre los planos de la Disposición General llevada a cabo en el Cuaderno 7.

Tabla 5: Cálculo alumbrado de emergencia

Cubierta 1				
Local	E	S	L	P(kW)
Cámara de Máquinas	400	560	896000	5,97
Local Eq. Aux.	250	167	167000	1,11
Local Eq. C.I.	250	170	170000	1,13
Total				8,22
Cubierta 2				
Local	E	S	L	P(kW)
Sala Eq. Eléctricos	400	330	528000	3,52
Cámara de Máquinas	400	624	998400	6,66
Pasillos Tripulación	100	437,5	175000	1,17
Sala de estar Tripulación	50	123	24600	0,16
Total				11,51
Cubierta 3				
Local	E	S	L	P(kW)
Comedores	250	209	209000	1,39
Pasillos Pasaje	150	433	259800	1,73
Pasillos Tripulación	100	137	54800	0,37
Sala de estar Oficiales	250	82,7	82700	0,55
Pañoles	30	30	3600	0,02
Total				4,07
Cubierta 4				
Local	E	S	L	P(kW)
Recepción	300	362	434400	2,90
Pañoles	150	12	7200	0,05

Pasillos Pasaje	150	260	156000	1,04
Total				3,98

Cubierta 5				
Local	E	S	L	P(kW)
Bar	300	460	552000	3,68
Pasillos Pasaje	150	224	134400	0,896
Pañoles y almacén	150	12	7200	0,048
Cubierta de Botes	20	646	51680	0,34
Total				4,97

Cubierta 6				
Local	E	S	L	P(kW)
Pasillos Pasaje	338	320	432640	2,88426667
Pañoles y almacén	150	12	7200	0,05
Exterior	20	530	42400	0,28
Total				3,21

Cubierta 7				
Local	E	S	L	P(kW)
Bar	300	300	360000	2,4
Pasillos Pasaje	150	232	139200	0,93
Pañoles y almacén	150	12	7200	0,05
Exterior	20	265	21200	0,14
Total				3,52

Cubierta 8				
Local	E	S	L	P(kW)
Pañoles y almacén	150	12	7200	0,05
Puente	600	330	792000	5,28
Exterior	20	135	10800	0,07
Total				5,40

Cubierta 9				
Local	E	S	L	P(kW)
Zonas de reunión	200	266	212800	1,42
Pasillos Pasaje	150	165	99000	0,66
Pañoles y almacén	150	12	7200	0,05
Exterior	20	240	19200	0,13
Total				2,25

Cubierta 10				
Local	E	S	L	P(kW)
Pasillos Tripulación	100	33	13200	0,09
Pasillos Pasaje	150	126	75600	0,50
Exterior	20	350	28000	0,19
Total				0,78

Tras considerar las cámaras de máquinas, los puntos de reunión (zonas de reunión, bares o recepción), los pasillos, tanto de pasaje como de tripulación, los pañoles de equipos de bomberos, los puestos de control y de gobierno, la cubierta de botes y las zonas exteriores, así como los locales destinados a los cuadros principales, equipos contraincendios y bombas de sentinas, se obtiene una potencia del alumbrado de emergencia de 48 kW.

5 BALANCE ELÉCTRICO

5.1 Generalidades

El balance eléctrico es el estudio de la potencia consumida o demandada en las diferentes situaciones del buque con el fin de determinar la potencia requerida a los generadores principales de forma que estos satisfagan la potencia absorbida en la situación más desfavorable. Dicho de otra forma, es el procedimiento a través del cual se obtienen las necesidades energéticas en las diferentes situaciones de operación del buque.

Se considerará un desglose de los consumidores en función de sus condiciones de alimentación tal como se muestra en la siguiente tabla:

GRUPO	SISTEMAS
AUXILIARES DE MÁQUINAS Y SISTEMAS DE PROPULSIÓN	1 Sistemas de Propulsión
	2 Sistema de Refrigeración
	3 Sistema de Combustible
	4 Sistema de Lubricación
	5 Sistema de Aire Comprimido
SERVICIOS Y AUX. DE CASCO	6 Sistema de Sentinas
	7 Sistema de Lastre
	8 Sistema de Agua Sanitaria
	9 Sistema C.I.
VENTILACIÓN Y A.C.	10 Ventilación y A.C.
CARGA	11 Sistemas de carga
HABILITACIÓN	12 Fonda y acomodación
NAVEGACIÓN Y COMUNICACIÓN	13 Equipos de Navegación y Comunicación
ILUMINACIÓN	14 Sistemas de Iluminación

La potencia total que tiene que suministrar la Planta Principal es el resultado de sumar las estimaciones de todas las potencias aparentes consumidas por los equipos e instalaciones en la situación más desfavorable. Por otro lado, la Planta de emergencia cuya disposición sigue las indicaciones fijadas por el SOLAS debe ser capaz de proporcionar una potencia cuyo valor es igual al sumatorio de la estimación de todas las potencias aparentes demandas en la situación de emergencia.

El balance eléctrico se puede realizar siguiendo varios procedimientos y será más exacto a medida que avanzamos en el proyecto y se conocen más datos sobre el buque a proyectar. Los métodos que se pueden seguir son los siguientes:

- Balance estimado mediante fórmulas: proporciona una aproximación sencilla del consumo eléctrico en la situación de navegación, se usa en fases muy tempranas del proyecto para estimar el consumo y peso de los grupos generadores.
- Balance a partir del buque de referencia: se establece una proporción con los datos conocidos del buque base para estimar la potencia necesaria de los grupos generadores.
- Balance clásico: Se calculan los totales y subtotales para cada situación de la potencia activa de cada grupo
- Balance eléctrico avanzado: se lleva a cabo para cada equipo o instalación el cálculo de su potencia reactiva y aparente, mediante el factor de potencia para obtener las potencias totales para cada situación.

El balance eléctrico se llevará a cabo teniendo en cuenta una serie de coeficientes que nos permitirán estimar la potencia consumida por cada equipo.

Los coeficientes se exponen a continuación:

- k_u es el coeficiente de utilización
- k_n es el coeficiente o factor de simultaneidad en marcha y es la relación entre el número de aparatos en servicio y el número de aparatos instalados
- k_{sr} es el coeficiente de servicio y régimen. Este factor será igual a 1 cuando el aparato funciones de manera continua a pleno régimen y menor a uno cuando el aparato ofrece un servicio discontinuo.
- k_s es el coeficiente de servicio que se calcula dividiendo el número de horas en servicio del aparato entre las 24 horas que tiene un día
- k_r es el coeficiente de régimen que depende del régimen de trabajo de cada una de las máquinas:

$$k_r = \frac{\text{Potencia absorbida del motor en servicio}}{\text{Potencia absorbida en regimen nominal}} = \frac{\text{Potencia absorbida}}{\text{Potencia útil}} * \eta_{maq. eléctrica}$$

Las relaciones entre los coeficientes y con la potencia son las siguientes:

$$P_u = k_u * P$$

Siendo, P la potencia total instalada de ese conjunto de aparatos y Pu la potencia consumida.

$$k_u = k_n * k_{sr}$$

$$k_{sr} = k_s * k_r = \frac{N}{24} * \frac{\text{Potencia absorbida}}{\text{Potencia util}} * \eta_{maq. eléctrica}$$

A la hora de seleccionar los coeficientes para los equipos del buque se considerará lo siguiente:

- k_n y k_{sr} son función de la funcionalidad del servicio y de la operatividad del buque, así como de las costumbres de la tripulación.
- Para los equipos auxiliares de la cámara de máquinas el coeficiente de servicio y de régimen suele tener un valor entre 0.8 y 0.9. Es muy habitual que los constructores de reserven un margen con el fin de poder hacer frente a un aumento o exceso de la potencia requerida debido a causas externas como más tiempo
- k_{sr} a menudo resulta complicado de hallar mediante fórmulas matemáticas por lo que cobra gran importancia la experiencia del constructor o la existencia de información sobre buques similares.

Como ya se ha mencionado el balance eléctrico se debe llevar a cabo para todas las situaciones de navegación del buque con el fin de hallar la más desfavorable, a continuación, se especifican las situaciones consideradas:

- I. Navegación a 16 nudos (velocidad establecida en la RPA y para la cual se ha dimensionado la propulsión): en ella la propulsión principal funciona a pleno rendimiento, así como todos los consumidores de fonda y hotel.
- II. Maniobra: ocurre cuando el buque entra o sale de puerto. En ella los propulsores principales no funcionan al máximo rendimiento, pero se hace uso de la hélice de proa y de los equipos y sistemas de amarre. Además, es necesario mantener todos los servicios de hotel.
- III. Carga y descarga/ Puerto: el crucero se encuentra atracado en puerto, por lo cual no existe consumo de la propulsión sin embargo todos los equipos destinados a satisfacer las necesidades del pasaje deben seguir funcionando. Existe la posibilidad de conectar el buque al suministro eléctrico del puerto.
- IV. Retorno Seguro a Puerto (Safe Return to Port): como ya hemos visto en los cuadernos previos a este, por las características del buque, se debe cumplir el Safe Return to Port

- establecido por el SOLAS. En esta situación los propulsores trabajan a un consumo muy bajo, pero deben estar garantizados la seguridad y el confort de los pasajeros.
- V. Emergencia: en esta situación solo se consideran los servicios esenciales del buque y será la determinante para la selección del generador de emergencia que como se vio en el Cuaderno 7 va ubicado en la cubierta 3 sobre la cubierta principal. Los equipos que han de funcionar durante la situación de emergencia vienen estipulados en el capítulo II-I del SOLAS parte D, regla 42.
- a. Durante un periodo de 36h:
 - i. Alumbrado de emergencia (visto en apartado 3.4.3.)
 - ii. Luces de navegación
 - iii. Equipos de comunicación
 - iv. Sistema de detección de incendios y de alarma y el sistema de retención y suelta de las puertas contra incendios
 - v. Lámparas de señales diurnas, avisadores, señales interiores... (de manera intermitente)
 - vi. Bomba C.I.
 - vii. Bomba de rociadores
 - viii. Bomba de emergencia para el achique de sentinas y todo el equipo esencial para el funcionamiento de este sistema
 - b. Durante un periodo de media hora:
 - i. Puertas estancas
 - ii. Dispositivos de emergencia que impulsan los ascensores hasta la cubierta para la evacuación de personas

5.2 Justificación de los coeficientes

5.2.1 Sistema de propulsión

En el sistema de propulsión distinguiremos los propulsores azimutales que como hemos visto son de clase Azipod CO y la hélice de proa que solo funcionará en la situación de maniobra.

Para los propulsores principales el coeficiente de simultaneidad en marcha será $k_n = 1$ cuando el buque se encuentra en la situación de navegación ya que se emplean las dos hélices, al igual que cuando el buque se encuentre maniobrando en puerto, sin embargo, en la situación de Safe Return to Port $k_n = 0.5$ ya que solo se empleará un propulsor. En la situación de emergencia y puerto, ninguna de las dos hélices estará operativas y por lo tanto $k_n = 0$. Esto ocurrirá tanto de día como de noche, en verano o en invierno. La hélice de proa solo operará en la situación de maniobra para la cual $k_n = 0.5$.

El coeficiente de servicio y régimen para los propulsores principales en la situación de navegación se obtiene del software NavCad para la velocidad considerada

Prediction results [System]									
SPEED [kt]	HULL-PROPULSOR				ENGINE			FUEL PER ENGINE	
	PETOTAL [kW]	WFT	THD	EFFR	RPMENG [RPM]	PBENG [kW]	LOADENG [% rated]	VOLRATE [L/h]	MASSRATE [t/h]
8,00	473,6	0,1589	0,1641	1,0079	108	405,3	10,7	---	---
9,00	665,0	0,1587	0,1641	1,0079	121	567,4	14,9	---	---
10,00	902,2	0,1586	0,1641	1,0079	134	768,0	20,2	---	---
11,00	1192,4	0,1584	0,1641	1,0079	147	1013,6	26,7	---	---
12,00	1544,7	0,1583	0,1641	1,0079	161	1312,6	34,5	---	---
13,00	1971,2	0,1581	0,1641	1,0079	174	1676,5	44,1	---	---
14,00	2487,1	0,1580	0,1641	1,0079	188	2120,1	55,8	---	---
15,00	3110,6	0,1579	0,1641	1,0079	203	2661,8	70,0	---	---
+ 16,00 +	3862,9	0,1578	0,1641	1,0079	218	3323,1	87,4	---	---
17,00	4774,3	0,1577	0,1641	1,0079	234	4135,7	108,8	---	---

Figura 9: Resultados NavCad Navegación normal

Como cada motor propulsor principal puede ofrecer como máximo 3800 kW, el coeficiente de régimen será igual a 0.874 en la situación de navegación y $k_s=1$. En la situación de puerto y emergencia serán igual a 0.

En la situación de maniobra se ha considerado una velocidad de operación de 8 nudos. Para esta condición NavCad nos proporciona un coeficiente de régimen igual a 0.107 (Loadeng 10.7%) y consideraremos un tiempo de maniobra de 4h ($k_s = 4/24=0.16$). Además, como ya se ha mencionado una hélice de proa se encontrará funcionando en esta situación por lo que se definirá un coeficiente de régimen igual a $k_r = \frac{857.6}{1205} = 0.71$.

La condición de SRtP debe asegurar que el buque puede navegar a una velocidad de 6 nudos empleado un único propulsor ($k_n = 0.5$). Del programa informático obtenemos $k_r = 0.235$ y Consideraremos $k_s = 1$ ya que la distancia a la costa puede tener un valor tan elevado que sea necesario navegar en esta condición durante 24h seguidas.

5.2.2 Auxiliares de los grupos generadores

Para conocer el coeficiente de simultaneidad de los equipos auxiliares de los motores diésel es necesario conocer la relación entre el número de equipos instalados y operativos que dependerá en gran medida de los grupos generadores que se encuentren funcionando. Para la condición de navegación se supondrá que se requiere el funcionamiento de los 4 grupos generadores instalados a bordo con sus correspondientes equipos auxiliares. En la situación de puerto y maniobra se considerará el funcionamiento de un único grupo generador debido a que el consumo del sistema de propulsión es mucho menor, pero hace falta abastecer a todo el sistema de iluminación, fonda y hotel, entre otros.

Además, para el cálculo del coeficiente de simultaneidad hay que considerar la existencia de dos cámaras de máquinas independientes que conlleva que los generadores se encuentran en grupos de dos. El número de equipos auxiliares en servicio dependerá de que los dos grupos generadores operativos se encuentren en la misma cámara de máquinas o no. En la situación de SRtP se considerará que los dos grupos operativos se encuentran en la misma cámara de máquinas.

Como ya se ha mencionado previamente, los equipos auxiliares de la cámara de máquinas suelen tener un coeficiente de servicio y de régimen con un valor entre 0.8 y 0.9.

- Sistema de refrigeración

El sistema de refrigeración está compuesto de 4 bombas de agua salada repartidas en las dos cámaras de máquinas, donde una estará operativa y la otra en stand-by. Lo mismo ocurrirá con las bombas del circuito de refrigeración de agua dulce a baja temperatura.

Por otro lado, hay instalados cuatro módulos de precalentamiento, uno para cada grupo generador. Los módulos de precalentamiento no funcionarán de forma continua ya que solo funcionan cuando el motor se encuentra en modo espera para garantizar una correcta combustión y evitar la corrosión en frío.

- Sistema de combustible

Para conocer los coeficientes del sistema de combustible es necesario conocer el número de equipos que existen y cuales están operativos:

- 4 bombas de suministro existente, 2 de reserva
- 2 bombas de trasiego de MDO, 1 de reserva
- 2 separadores auto limpiantes
- 2 precalentadores
- 2 bombas de alimentación del separador

Otro factor a tener en cuenta es que el separador de combustible y la bomba de trasiego de combustible deben de ser capaces de llenar los tanques de uso diario en 2h.

- Sistema de lubricación

Cada motor está provisto de un sistema de aceite lubricante. El sistema no cuenta con equipos de reserva, por lo que $k_n=1$.

El necesario tener en cuenta para el cálculo de k_s que el precalentador debe de ser capaz de calentar el tanque de aceite lubricante en 4h.

- Sistema de aire de arranque

Se disponen de 2 compresores, uno en cada cámara de máquinas con una interconexión entre ellos por si uno de ellos falla.

5.2.3 Equipos y servicios del buque

El valor de los coeficientes de funcionamiento de los diferentes equipos y sistemas del buque variará en función de la operación que esté desarrollando el buque en ese momento.

Pese a que el buque cuenta con tanques de lastre, estos tanques no se llenarán salvo caso de emergencia. Es por eso por lo que los equipos que conforman el sistema de lastre solo funcionarán en la condición de emergencia o que por algún motivo externo sea necesario modificar la escora o trimado del buque. Lo mismo ocurrirá con el sistema contraincendios.

Por otro lado, el sistema de sentinas funcionará en todas las condiciones de navegación. Como se calculó en el Cuaderno 12 el buque contará con cuatro bombas de sentinas que irán conectadas al colector principal de achique y distribuidas a lo largo de la eslora del buque de forma que una filtración de agua no afecte a todas ellas a la vez y el buque pueda ser capaz de afrontar cualquier situación de averías. Por lo que se considerará que en condiciones normales de operación se encontrará funcionando una única bomba durante 4h al día y en caso de emergencia se considerará el funcionamiento simultáneo de dos bombas funcionando continuamente.

El sistema de agua sanitaria, así como el de ventilación, aire acondicionado y los equipos de fonda y hotel, han de encontrarse operativo en todas las condiciones de navegación salvo en la de emergencia. Por otro lado, el equipo de navegación y comunicación han de permanecer siempre operativos inclusive en la condición de emergencia. Así como la iluminación que en caso de emergencia entrará la iluminación de emergencia.

Por lo general, el coeficiente de régimen de los equipos variará entre 0,7 y 0,9.

5.3 Cálculo

A continuación, se muestra las tablas de los balances llevados a cabo para las diferentes condiciones de navegación del buque proyecto.

5.3.1 Condición de navegación a la velocidad de servicio

En esta condición de navegación los dos motores principales propulsores estarán operativos, así como todos los equipos auxiliares de los grupos generadores, salvo el módulo de precalentamiento. Además, todos los servicios auxiliares del buque se encontrarán en funcionamiento, salvo aquellos destinados a una situación de emergencia (sistema contraincendios, pescantes de botes salvavidas...) o los de uso exclusivo en puerto (amarre y fondeo). A continuación, se adjunta la tabla de balance, con los resultados finales.

NAVEGACIÓN NORMAL

EQUIPO	Nº	POTENCIA UTIL (KW)	η_e	POTENCIA ABS (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	Nº ON	Kn	Ks	Kr	Ku	POTENCIA NECESARIA (KW)
1. Propulsión											
Propulsores	2	3800	0,92	4129,90	8259,80	2	1	1	0,9	0,9	7433,82
Hélice transversal	1	858	0,95	902,21	902,21	0	0	0	0	0	0
TOTAL					9162,01	TOTAL					7433,82
2. Refrigeración											
Bomba agua salada	4	27,10	0,92	29,45	117,82	2	1	0,80	0,9	0,4	42,41
Bomba agua dulce LT	4	24,00	0,92	26,09	104,35	2	1	0,80	0,9	0,4	37,57
Bomba precalent.	4	1,64	0,84	1,94	7,76	0	0	0	0,0	0,0	0,00
TOTAL					229,92	TOTAL					79,98
3. Lubricación											
Bomba prelubricación	4	2,90	0,86	3,39	13,57	0	0	0,00	0,0	0,0	0,00
Separador de aceite	4	0,75	--	0,75	0,75	4	1	0,92	0,9	0,8	0,62
Bomba de trasiego	4	0,90	0,81	1,11	4,42	4	1	0,17	0,9	0,2	0,66
TOTAL					18,7	TOTAL					1,28
4. Combustible											
Bomba suministro MDO	4	4	0,866	4,62	18,48	2	0,5	0,80	0,9	0,36	6,65
Bomba trasiego MDO	2	18	0,912	19,74	39,47	1	0,5	0,8	0,9	0,36	14,21
Separador de combustible diésel	2	1,4	0,828	1,69	3,38	1	0,5	0,8	0,9	0,36	1,22
Bomba alimentación separador diésel	2	1,5	0,828	1,81	3,62	1	0,5	0,8	0,9	0,36	1,30
TOTAL					64,95	TOTAL					23,38
5. Sistema de aire											

Compresor de aire de arranque	2	9,6	--	9,60	19,20	2	1	0,25	0,9	0,225	4,32
				TOTAL	19,20					TOTAL	4,32
6. Sentinas											
Bomba de sentinas	4	11,52	0,906	12,72	50,86	2	0,5	0,25	0,9	0,113	5,72
Separador de sentinas	1	6	--	6,00	6,00	1	1	0,33	0,9	0,3	1,8
				TOTAL	56,86					TOTAL	7,52
7. Lastre											
Bomba de lastre	1	7,2	0,887	8,12	8,12	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	8,12					TOTAL	0,00
8. Contraincendios											
Bomba de CI	3	4,17	0,877	4,75	14,26	0	0	0	0	0	0
Bomba de CI Emergencia	1	60	94%	63,83	63,83	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	78,09					TOTAL	0,00
9. Agua sanitaria											
Bomba suministro	2	41,19	0,931	44,24	88,49	1	0,5	0,6	0,9	0,26	23,23
Bomba circulación	2	1,40	0,828	1,69	3,38	1	0,5	0,6	0,9	0,26	0,89
Calentador	5	40,00	--	40,00	200,00	3	0,6	0,3	0,9	0,18	36,00
Generador	2	30	--	30,00	60,00	2	1	0,6	0,85	0,50	29,75
Planta TAR	1	11	--	11,00	11,00	1	1	0,6	0,9	0,53	5,78
				TOTAL	362,87					TOTAL	95,64
10. Ventilación y aire acondicionado											
Ventilador CM	4	18,5	--	18,50	74,00	4	1	1	0,8	0,9	66,60
Extractor CM	4	5,50	--	5,50	22,00	4	1	1	0,9	0,9	19,80
Planta A/C MVZ 1	1	375,00	--	375,00	375,00	1	1	1	0,9	0,9	352,50
Planta A/C MVZ 2	1	566	--	566,00	566,00	1	1	1	0,9	0,9	532,04
Planta A/C MVZ 3	1	439	--	439,00	439,00	1	1	1	0,9	0,9	412,66
				TOTAL	1476,00					TOTAL	1383,60
11. Medios de elevación											
Ascensores	6	5,4	--	5,40	32,40	6	1	0,33	0,7	0,23	7,56
Montacargas	3	0,5	--	0,50	1,50	3	1	0,25	0,7	0,18	0,26
Montaplatos	2	1,1	--	1,10	2,20	2	1	0,25	0,7	0,18	0,39

Anexo XI/Cuaderno 11: Diseño de la planta eléctrica

Lucía Barreiro Varela

Grúa	2	5	--	5,00	10,00	0	0	0,00	0	0,00	0,00
				TOTAL	46,10					TOTAL	8,21
12. Hotel y fonda											
Cocina eléctrica	4	16	--	16,00	64,00	4	1	0,17	0,80	0,13	8,53
Cocina de inducción	2	20	--	20,00	40,00	2	1	0,17	0,80	0,13	5,33
Plancha	2	16,00	--	16,00	32,00	2	1	0,17	0,80	0,13	4,27
Parrillas	2	15,00	--	15,00	30,00	2	1	0,17	0,80	0,13	4,00
Cocedores	2	24,00	--	24,00	48,00	2	1	0,17	0,80	0,13	6,40
Marmitas	2	22,00	--	22,00	44,00	2	1	0,17	0,80	0,13	5,87
Horno	4	31,20	--	31,20	124,80	4	1	0,17	0,80	0,13	16,64
Lavavajillas	2	6,20	--	6,20	12,40	2	1	0,17	0,80	0,13	1,65
Freidoras	2	24,00	--	24,00	48,00	2	1	0,17	0,80	0,13	6,40
Gambuzas refrigeradas	8	16,00	--	16,00	128,00	8	1	1,00	0,90	0,90	115,20
Frigorífico	3	2,38	--	2,38	7,14	3	1	1,00	0,9	0,90	6,43
Lavadora	6	22,00	--	22,00	132,00	6	1	0,33	0,85	0,28	37,40
Secadoras	6	55,90	--	55,90	335,40	6	1	0,33	0,85	0,28	95,03
Calandras	2	14,70	--	14,70	29,40	2	1	0,33	0,85	0,28	8,33
Mesa de repaso	1	6,65	--	6,65	6,65	1	1	0,33	0,85	0,28	1,88
Plegadoras	1	1,07	--	1,07	1,07	1	1	0,33	0,85	0,28	0,30
Trituradora	2	6,60	--	6,60	13,20	1	0,5	0,80	0,80	0,32	4,22
Incineradora	2	14,70	--	14,70	29,40	1	0,5	0,80	0,80	0,32	9,41
Equipos varios	1	20,00	--	20,00	20,00	1	1	0,17	0,9	0,15	3,00
Televisores	200	0,20	--	0,20	40,00	200	1	0,04	0,9	0,04	1,50
				TOTAL	1185,46					TOTAL	341,80
13. Mantenimiento y talleres											
Torno	1	3,5	--	3,50	3,50	1	1	0,04	0,9	0,04	0,13
Taladro	1	1,00	--	1,00	1,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,04
Grupo Soldadura	1	8	--	8,00	8,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,30
Rectificadora	1	1	--	1,00	1,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,04
				TOTAL	13,50					TOTAL	0,51
14. Cubierta											

Chigres	4	100	0,95	105,82	423,28	0	0	0	0	0	0
Molinete	2	48,06	0,935	51,40	102,80	0	0	0	0	0	0
Pescante botes salvavidas	4	84,00	--	84,00	336	0	0	0	0	0	0
Pescante botes rescate	2	32	--	32	64	0	0	0	0	0	0
Pescante balsas	4	22	--	22	88	0	0	0	0	0	0
TOTAL				926,08	TOTAL				0,00		
15. Control y comunicación											
Equipos radio	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9	4,5
Equipos Navegación	1	6,00	--	6,00	6,00	1	1	1	0,9	0,9	5,4
Automatización	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9	4,5
Megafonía	1	4,00	--	4,00	4,00	1	1	0,2	0,9	0,18	0,72
Equipos detección de incendios	1	3	--	3,00	3,00	1	1	1	0,9	0,9	2,7
Puertas estancas	15	19,20	--	19,20	288,00	0	0	0	0	0	0
TOTAL				311,00	TOTAL				17,82		
16. Alumbrado											
Alumbrado Principal	1	132,94	--	132,94	132,94	1	1	0,83	0,7	0,58	77,55
Alumbrado de Emergencia	1	47,91	--	47,91	47,91	0	0	0,00	0	0,00	0,00
TOTAL				180,85	TOTAL				77,55		
TOTAL BALANCE ELÉCTRICO											9949,20
VELOCIDAD DE SERVICIO											Kw

Tabla 6: Balance eléctrico para la condición de navegación a 16 nudos

5.3.2 Condición de maniobra

Los equipos de la planta propulsora y los equipos auxiliares de los grupos generadores estarán operativos, pero funcionando a un régimen menor dado que la velocidad para esta situación no será la de servicio. También se encontrarán operativos los sistemas de amarre y fondeo, así como la hélice trasnversal.

MANIOBRA

EQUIPO	Nº	POTENCIA UTIL (KW)	ηe	POTENCIA ABS (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	Nº ON	Kn	Ks	Kr	Ku	POTENCIA NECESARIA (KW)
1. Propulsión											
Propulsores	2	3800	0,92	4129,37	8258,73	2	1	0,9	0,107	0,096	795,32
Hélice transversal	1	858	0,95	902,21	902,21	1	1	0,9	0,71	0,639	576,511041
TOTAL				9160,94		TOTAL				1371,83	
2. Refrigeración											
Bomba agua salada	4	27,10	0,92	29,45	117,82	2	0,50	0,80	0,5	0,20	23,56
Bomba agua dulce LT	4	24,00	0,92	26,09	104,35	2	0,50	0,80	0,5	0,20	20,87
Bomba precalent.	4	1,64	0,84	1,94	7,76	2	0,50	0,80	0,9	0,36	2,79
TOTAL				229,92		TOTAL				47,23	
3. Lubricación											
Bomba prelubricación	4	2,90	0,86	3,39	13,57	2	0,50	0,80	0,9	0,36	4,88
Separador de aceite	4	0,75	--	0,75	0,75	2	0,50	0,92	0,9	0,41	0,31
Bomba de trasiego	4	0,90	0,81	1,11	4,42	2	0,50	0,17	0,9	0,08	0,33
TOTAL				18,74		TOTAL				5,53	
4. Combustible											
Bomba suministro MDO	4	4	0,866	4,62	18,48	2	0,5	0,80	0,45	0,18	3,33
Bomba trasiego MDO	2	18	0,912	19,74	39,47	1	0,5	0,8	0,45	0,18	7,11
Separador de combustible diésel	2	1,4	0,828	1,69	3,38	1	0,5	0,8	0,9	0,36	1,22
Bomba alimentación separador diésel	2	1,5	0,828	1,81	3,62	1	0,5	0,8	0,9	0,36	1,30
TOTAL				64,95		TOTAL				12,95	
5. Sistema de aire											
Compresor de aire de arranque	2	9,6	22	9,60	19,20	2	1	0,25	0,9	0,225	4,32
TOTAL				19,20		TOTAL				4,32	
6. Sentinas											
Bomba de sentinas	4	11,52	0,906	12,72	50,86	2	0,5	0,25	0,9	0,1125	5,72
Separador de sentinas	1	6	--	6,00	6,00	1	1	0,33	0,9	0,3	1,8
TOTAL				56,86		TOTAL				7,52	

7. Lastre											
Bomba de lastre	1	7,2	0,887	8,12	8,12	0	0	0	0	0	0
TOTAL				8,12	TOTAL				0,00		
8. Contraincendios											
Bomba de CI	3	4,17	10	4,75	14,26	0	0	0	0	0	0
Bomba de CI Emergencia	1	60	94%	63,83	63,83	0	0	0,00	0	0	0
TOTAL				78,09	TOTAL				0,00		
9. Agua sanitaria											
Bomba suministro	2	41,19	0,931	44,24	88,49	1	0,5	0,6	0,9	0,26	23,23
Bomba circulación	2	1,40	0,828	1,69	3,38	1	0,5	0,6	0,9	0,26	0,89
Calentador	5	40,00	--	40,00	200,00	3	0,6	0,3	0,9	0,18	36,00
Generador	2	30	--	30,00	60,00	2	1	0,6	0,85	0,50	29,75
Planta TAR	1	11	--	11,00	11,00	1	1	0,6	0,9	0,53	5,78
TOTAL				362,87	TOTAL				95,64		
10. Ventilación y aire acondicionado											
Ventilador CM	4	18,5	--	18,50	74,00	4	1	1	0,8	0,9	66,60
Extractor CM	4	5,50	--	5,50	22,00	4	1	1	0,9	0,9	19,80
Planta A/C MVZ 1	1	375,00	--	375,00	375,00	1	1	1	0,9	0,9	352,50
Planta A/C MVZ 2	1	566	--	566,00	566,00	1	1	1	0,9	0,9	532,04
Planta A/C MVZ 3	1	439	--	439,00	439,00	1	1	1	0,9	0,9	412,66
TOTAL				1476,00	TOTAL				1383,60		
11. Medios de elevación											
Ascensores	6	5,4	--	5,40	32,40	6	1	0,33	0,7	0,23	7,56
Montacargas	3	0,5	--	0,50	1,50	3	1	0,25	0,7	0,18	0,26
Montaplatos	2	1,1	--	1,10	2,20	2	1	0,25	0,7	0,18	0,39
Grúa	2	5	--	5,00	10,00	0	0	0,00	0	0,00	0,00
TOTAL				46,10	TOTAL				8,21		
12. Hotel y fonda											
Cocina eléctrica	4	16	--	16,00	64,00	4	1	0,17	0,80	0,13	8,53
Cocina de inducción	2	20	--	20,00	40,00	2	1	0,17	0,80	0,13	5,33
Plancha	2	16,00	--	16,00	32,00	2	1	0,17	0,80	0,13	4,27

Anexo XI/Cuaderno 11: Diseño de la planta eléctrica

Lucía Barreiro Varela

Parrillas	2	15,00	--	15,00	30,00	2	1	0,17	0,80	0,13	4,00	
Cocedores	2	24,00	--	24,00	48,00	2	1	0,17	0,80	0,13	6,40	
Marmitas	2	22,00	--	22,00	44,00	2	1	0,17	0,80	0,13	5,87	
Horno	4	31,20	--	31,20	124,80	4	1	0,17	0,80	0,13	16,64	
Lavavajillas	2	6,20	--	6,20	12,40	2	1	0,17	0,80	0,13	1,65	
Freidoras	2	24,00	--	24,00	48,00	2	1	0,17	0,80	0,13	6,40	
Gambuzas refrigeradas	8	16,00	--	16,00	128,00	8	1	1,00	0,90	0,90	115,20	
Frigorífico	3	2,38	--	2,38	7,14	3	1	1,00	0,9	0,90	6,43	
Lavadora	6	22,00	--	22,00	132,00	6	1	0,33	0,85	0,28	37,40	
Secadoras	6	55,90	--	55,90	335,40	6	1	0,33	0,85	0,28	95,03	
Calandras	2	14,70	--	14,70	29,40	2	1	0,33	0,85	0,28	8,33	
Mesa de repaso	1	6,65	--	6,65	6,65	1	1	0,33	0,85	0,28	1,88	
Plegadoras	1	1,07	--	1,07	1,07	1	1	0,33	0,85	0,28	0,30	
Trituradora	2	6,60	--	6,60	13,20	1	0,5	0,80	0,80	0,32	4,22	
Incineradora	2	14,70	--	14,70	29,40	1	0,5	0,80	0,80	0,32	9,41	
Equipos varios	1	20,00	--	20,00	20,00	1	1	0,17	0,9	0,15	3,00	
Televisores	200	0,20	--	0,20	40,00	200	1	0,04	0,9	0,04	1,50	
TOTAL				1185,46				TOTAL				341,80
13. Mantenimiento y talleres												
Torno	1	3,5	--	3,50	3,50	1	1	0,04	0,9	0,04	0,13	
Taladro	1	1,00	--	1,00	1,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,04	
Grupo Soldadura	1	8	--	8,00	8,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,30	
Rectificadora	1	1	--	1,00	1,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,04	
TOTAL				13,50				TOTAL				0,51
14. Cubierta												
Chigres	4	100	0,95	105,82	423,28	2	1	0,17	0,90	0,08	32	
Molinete	2	48,06	0,935	51,40	102,80	1	1	0,17	0,90	0,08	8	
Pescante botes salvavidas	4	84,00	--	84,00	336	0	0	0,00	0,00	0,00	0	
Pescante botes rescate	2	32	--	32	64	0	0	0,00	0,00	0,00	0	
Pescante balsas	4	22	--	22	88	0	0	0,00	0,00	0,00	0	
TOTAL				926,08				TOTAL				40,25

15. Control y comunicación											
Equipos radio	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9	4,5
Equipos Navegación	1	6,00	--	6,00	6,00	1	1	1	0,9	0,9	5,4
Automatización	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9	4,5
Megafonía	1	4,00	--	4,00	4,00	1	1	0,2	0,9	0,18	0,72
Equipos detección de incendios	1	3	--	3,00	3,00	1	1	1	0,9	0,9	2,7
Puertas estancas	15	19,20	--	19,20	288,00	0	0	0	0	0	0
TOTAL				311,00		TOTAL				17,82	
16. Alumbrado											
Alumbrado Principal	1	132,94	--	132,94	132,94	1	1	0,83	0,7	0,58	77,55
Alumbrado de Emergencia	1	47,91	--	47,91	47,91	0	0	0,00	0	0,00	0,00
TOTAL				180,85		TOTAL				77,55	
						TOTAL BALANCE ELÉCTRICO					3414,74
						MANIOBRA					Kw

Tabla 7: Balance eléctrico condición de maniobra

5.3.3 Condición de puerto

El buque estará atracado en puerto por lo cual los sistemas de propulsión no estarán operativos pero los de amarre y fondeo sí. Se considerará que el buque permanece al menos un día atracado en puerto. Todos los sistemas de fonda y hotel deberán permanecer operativos.

PUERTO

EQUIPO	Nº	POTENCIA UTIL (KW)	ηe	POTENCIA ABS (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	Nº ON	Kn	Ks	Kr	Ku	POTENCIA NECESARIA (KW)
1. Propulsión											
Propulsores	2	3800	0,92	4129,37	8258,73	0	0	0	0	0	0
Hélice transversal	1	858	0,95	902,21	902,21	0	0	0	0	0	0
TOTAL					9160,94	TOTAL					0,00
2. Refrigeración											
Bomba agua salada	4	27,10	0,92	29,45	117,82	2	0,50	0,80	0,5	0,20	23,56
Bomba agua dulce LT	4	24,00	0,92	26,09	104,35	2	0,50	0,80	0,5	0,20	20,87
Bomba precalent.	4	1,64	0,84	1,94	7,76	2	0,50	0,80	0,9	0,36	2,79
TOTAL					229,92	TOTAL					47,23
3. Lubricación											
Bomba prelubricación	4	2,90	0,86	3,39	13,57	2	0,50	0,80	0,9	0,36	4,88
Separador de aceite	4	0,75	--	0,75	0,75	2	0,50	0,92	0,9	0,41	0,31
Bomba de trasiego	4	0,90	0,81	1,11	4,42	2	0,50	0,17	0,9	0,08	0,33
TOTAL					18,74	TOTAL					5,53
4. Combustible											
Bomba suministro MDO	4	4	0,866	4,62	18,48	2	0,5	0,80	0,45	0,18	3,33
Bomba trasiego MDO	2	18	0,912	19,74	39,47	1	0,5	0,8	0,45	0,18	7,11
Separador de combustible diésel	2	1,4	0,828	1,69	3,38	1	0,5	0,8	0,9	0,36	1,22
Bomba alimentación separador diésel	2	1,5	0,828	1,81	3,62	1	0,5	0,8	0,9	0,36	1,30
TOTAL					64,95	TOTAL					12,95
5. Sistema de aire											
Compresor de aire de arranque	2	9,6	0	9,60	19,20	2	1	0,25	0,9	0,225	4,32
TOTAL					19,20	TOTAL					4,32
6. Sentinas											
Bomba de sentinas	4	11,52	0,906	12,72	50,86	2	0,5	0,25	0,9	0,1125	5,72
Separador de sentinas	1	6	--	6,00	6,00	1	1	0,33	0,9	0,3	1,8
TOTAL					56,86	TOTAL					7,52

7. Lastre												
Bomba de lastre	1	7,2	0,887	8,12	8,12	1	1	0,9	0,9	0,81	6,574971815	
TOTAL				8,12	TOTAL				6,57			
8. Contraincendios												
Bomba de CI	3	4,17	0	4,75	14,26	0	0	0	0	0	0	
Bomba de CI Emergencia	1	60	94%	63,83	63,83	0	0	0,00	0	0	0	
TOTAL				78,09	TOTAL				0,00			
9. Agua sanitaria												
Bomba suministro	2	41,19	0,931	44,24	88,49	1	0,5	0,6	0,9	0,26	23,23	
Bomba circulación	2	1,40	0,828	1,69	3,38	1	0,5	0,6	0,9	0,26	0,89	
Calentador	5	40,00	--	40,00	200,00	3	0,6	0,3	0,9	0,18	36,00	
Generador	2	30	--	30,00	60,00	2	1	0,6	0,85	0,50	29,75	
Planta TAR	1	11	--	11,00	11,00	1	1	0,6	0,9	0,53	5,78	
TOTAL				362,87	TOTAL				95,64			
10. Ventilación y aire acondicionado												
Ventilador CM	4	18,5	--	18,50	74,00	4	1	1	0,8	0,9	66,60	
Extractor CM	4	5,50	--	5,50	22,00	4	1	1	0,9	0,9	19,80	
Planta A/C MVZ 1	1	375,00	--	375,00	375,00	1	1	1	0,9	0,9	352,50	
Planta A/C MVZ 2	1	566	--	566,00	566,00	1	1	1	0,9	0,9	532,04	
Planta A/C MVZ 3	1	439	--	439,00	439,00	1	1	1	0,9	0,9	412,66	
TOTAL				1476,00	TOTAL				1383,60			
11. Medios de elevación												
Ascensores	6	5,4	--	5,40	32,40	6	1	0,33	0,7	0,23	7,56	
Montacargas	3	0,5	--	0,50	1,50	3	1	0,25	0,7	0,18	0,26	
Montaplatos	2	1,1	--	1,10	2,20	2	1	0,25	0,7	0,18	0,39	
Grúa	2	5	--	5,00	10,00	2	1	0,17	0,7	0,12	1,19	
TOTAL				46,10	TOTAL				9,40			
12. Hotel y fonda												
Cocina eléctrica	4	16	--	16,00	64,00	4	1	0,17	0,80	0,13	8,53	
Cocina de inducción	2	20	--	20,00	40,00	2	1	0,17	0,80	0,13	5,33	
Plancha	2	16,00	--	16,00	32,00	2	1	0,17	0,80	0,13	4,27	

Anexo XI/Cuaderno 11: Diseño de la planta eléctrica

Lucía Barreiro Varela

Parrillas	2	15,00	--	15,00	30,00	2	1	0,17	0,80	0,13	4,00
Cocedores	2	24,00	--	24,00	48,00	2	1	0,17	0,80	0,13	6,40
Marmitas	2	22,00	--	22,00	44,00	2	1	0,17	0,80	0,13	5,87
Horno	4	31,20	--	31,20	124,80	4	1	0,17	0,80	0,13	16,64
Lavavajillas	2	6,20	--	6,20	12,40	2	1	0,17	0,80	0,13	1,65
Freidoras	2	24,00	--	24,00	48,00	2	1	0,17	0,80	0,13	6,40
Gambuzas refrigeradas	8	16,00	--	16,00	128,00	8	1	1,00	0,90	0,90	115,20
Frigorífico	3	2,38	--	2,38	7,14	3	1	1,00	0,9	0,90	6,43
Lavadora	6	22,00	--	22,00	132,00	6	1	0,33	0,85	0,28	37,40
Secadoras	6	55,90	--	55,90	335,40	6	1	0,33	0,85	0,28	95,03
Calandras	2	14,70	--	14,70	29,40	2	1	0,33	0,85	0,28	8,33
Mesa de repaso	1	6,65	--	6,65	6,65	1	1	0,33	0,85	0,28	1,88
Plegadoras	1	1,07	--	1,07	1,07	1	1	0,33	0,85	0,28	0,30
Trituradora	2	6,60	--	6,60	13,20	1	0,5	0,80	0,80	0,32	4,22
Incineradora	2	14,70	--	14,70	29,40	1	0,5	0,80	0,80	0,32	9,41
Equipos varios	1	20,00	--	20,00	20,00	1	1	0,17	0,9	0,15	3,00
Televisores	200	0,20	--	0,20	40,00	200	1	0,04	0,9	0,04	1,50
TOTAL				1185,46		TOTAL				341,80	
13. Mantenimiento y talleres											
Torno	1	3,5	--	3,50	3,50	1	1	0,04	0,9	0,04	0,13
Taladro	1	1,00	--	1,00	1,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,04
Grupo Soldadura	1	8	--	8,00	8,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,30
Rectificadora	1	1	--	1,00	1,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,04
TOTAL				13,50		TOTAL				0,51	
14. Cubierta											
Chigres	4	100	0,95	105,82	423,28	2	1	0,17	0,90	0,08	32
Molinete	2	48,06	0,935	51,40	102,80	1	1	0,17	0,90	0,08	8
Pescante botes salvavidas	4	84,00	--	84,00	336	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Pescante botes rescate	2	32	--	32	64	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Pescante balsas	4	22	--	22	88	0	0	0,00	0,00	0,00	0
TOTAL				926,08		TOTAL				40,25	

15. Control y comunicación												
Equipos radio	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9		4,5
Equipos Navegación	1	6,00	--	6,00	6,00	0	0	0	0	0		0
Automatización	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9		4,5
Megafonía	1	4,00	--	4,00	4,00	1	1	0,2	0,9	0,18		0,72
Equipos detección de incendios	1	3	--	3,00	3,00	1	1	1	0,9	0,9		2,7
Puertas estancas	15	19,20	--	19,20	288,00	0	0	0	0	0		0
TOTAL				311,00		TOTAL				12,42		
16. Alumbrado												
Alumbrado Principal	1	132,94	--	132,94	132,94	1	1	0,83	0,7	0,58		77,55
Alumbrado de Emergencia	1	47,91	--	47,91	47,91	0	0	0,00	0	0,00		0,00
TOTAL				180,85		TOTAL				77,55		
						TOTAL BALANCE ELÉCTRICO						2045,28
						PUERTO						Kw

Tabla 8: Balance eléctrico condición de puerto

5.3.4 Condición de Retorno Seguro a Puerto

En esta condición de navegación solo se encontrará operativa un propulsor y una cámara de máquinas, pero deben garantizarse la seguridad y el confort de los pasajeros según estipula el SOLAS.

RETORNO SEGURO A PUERTO

EQUIPO	Nº	POTENCIA UTIL (KW)	ηe	POTENCIA ABS (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	Nº ON	Kn	Ks	Kr	Ku	POTENCIA NECESARIA (KW)
1. Propulsión											
Propulsores	2	3800	0,92	4129,37	8258,73	1	0,5	1	0,23	0,1	966,27
Hélice transversal	1	858	0,95	902,21	902,21	0	0	0	0	0	0
TOTAL					9160,94	TOTAL					966,27
2. Refrigeración											
Bomba agua salada	4	27,10	0,92	29,45	117,82	1	0,25	0,80	0,9	0,18	21,21
Bomba agua dulce LT	4	24,00	0,92	26,09	104,35	1	0,25	0,80	0,9	0,18	18,78
Bomba precalent.	4	1,64	0,84	1,94	7,76	2	0,50	0,80	0,9	0,36	2,79
TOTAL					229,92	TOTAL					42,78
3. Lubricación											
Bomba prelubricación	4	2,90	0,855	3,39	13,57	2	0,5	0,8	0,9	0,36	4,9
Separador de aceite	4	0,75	--	0,75	0,75	2	0,5	0,92	0,9	0,41	0,3
Bomba de trasiego	4	0,90	0,814	1,11	4,42	2	0,5	0,17	0,9	0,08	0,3
TOTAL					18,74	TOTAL					5,53
4. Combustible											
Bomba suministro MDO	4	4	0,866	4,62	18,48	1	0,25	0,80	0,9	0,18	3,33
Bomba trasiego MDO	2	18	0,912	19,74	39,47	1	0,5	0,08	0,45	0,01875	0,74
Separador de combustible diésel	2	1,4	0,828	1,69	3,38	1	0,5	0,08	0,9	0,0375	0,13
Bomba alimentación separador diésel	2	1,5	0,828	1,81	3,62	1	0,5	0,08	0,9	0,036	0,13
TOTAL					64,95	TOTAL					4,32
5. Sistema de aire											
Compresor de aire de arranque	2	9,6	0	9,60	19,20	2	1	0,25	0,9	0,225	4,32
TOTAL					19,20	TOTAL					4,32
6. Sentinas											
Bomba de sentinas	4	11,52	0,906	12,72	50,86	2	0,5	0,25	0,9	0,1125	5,72
Separador de sentinas	1	6	--	6,00	6,00	1	1	0,33	0,9	0,3	1,8
TOTAL					56,86	TOTAL					7,52

7. Lastre												
Bomba de lastre	1	7,2	0,887	8,12	8,12	0	0	0	0	0	0	0
				TOTAL	8,12					TOTAL	0,00	
8. Contraincendios												
Bomba de CI	3	4,17	0	4,75	14,26	0	0	0	0	0	0	0
Bomba de CI Emergencia	1	60	94%	63,83	63,83	0	0	0,00	0	0	0	0
				TOTAL	78,09					TOTAL	0,00	
9. Agua sanitaria												
Bomba suministro	2	41,19	0,931	44,24	88,49	1	0,5	0,6	0,9	0,26		23,23
Bomba circulación	2	1,40	0,828	1,69	3,38	1	0,5	0,6	0,9	0,26		0,89
Calentador	5	40,00	--	40,00	200,00	3	0,6	0,3	0,9	0,18		36,00
Generador	2	30	--	30,00	60,00	2	1	0,6	0,85	0,50		29,75
Planta TAR	1	11	--	11,00	11,00	1	1	0,6	0,9	0,53		5,78
				TOTAL	362,87					TOTAL	95,64	
10. Ventilación y aire acondicionado												
Ventilador CM	4	18,5	--	18,50	74,00	4	1	1	0,8	0,9		73,26
Extractor CM	4	5,50	--	5,50	22,00	4	1	1	0,9	0,9		19,80
Planta A/C MVZ 1	1	375,00	--	375,00	375,00	1	1	1	0,9	0,9		352,50
Planta A/C MVZ 2	1	566	--	566,00	566,00	1	1	1	0,9	0,9		532,04
Planta A/C MVZ 3	1	439	--	439,00	439,00	1	1	1	0,9	0,9		412,66
				TOTAL	1476,00					TOTAL	1390,26	
11. Medios de elevación												
Ascensores	6	5,4	--	5,40	32,40	6	1	0,33	0,7	0,23		7,56
Montacargas	3	0,5	--	0,50	1,50	3	1	0,25	0,7	0,18		0,26
Montaplatos	2	1,1	--	1,10	2,20	2	1	0,25	0,7	0,18		0,39
Grúa	2	5	--	5,00	10,00	0	0	0,00	0	0,00		0,00
				TOTAL	46,10					TOTAL	8,21	
12. Hotel y fonda												
Cocina eléctrica	4	16	--	16,00	64,00	4	1	0,17	0,80	0,13		8,53
Cocina de inducción	2	20	--	20,00	40,00	2	1	0,17	0,80	0,13		5,33
Plancha	2	16,00	--	16,00	32,00	2	1	0,17	0,80	0,13		4,27

Anexo XI/Cuaderno 11: Diseño de la planta eléctrica

Lucía Barreiro Varela

Parrillas	2	15,00	--	15,00	30,00	2	1	0,17	0,80	0,13	4,00
Cocedores	2	24,00	--	24,00	48,00	2	1	0,17	0,80	0,13	6,40
Marmitas	2	22,00	--	22,00	44,00	2	1	0,17	0,80	0,13	5,87
Horno	4	31,20	--	31,20	124,80	4	1	0,17	0,80	0,13	16,64
Lavavajillas	2	6,20	--	6,20	12,40	2	1	0,17	0,80	0,13	1,65
Freidoras	2	24,00	--	24,00	48,00	2	1	0,17	0,80	0,13	6,40
Gambuzas refrigeradas	8	16,00	--	16,00	128,00	8	1	1,00	0,90	0,90	115,20
Frigorífico	3	2,38	--	2,38	7,14	3	1	1,00	0,9	0,90	6,43
Lavadora	6	22,00	--	22,00	132,00	6	1	0,33	0,85	0,28	37,40
Secadoras	6	55,90	--	55,90	335,40	6	1	0,33	0,85	0,28	95,03
Calandras	2	14,70	--	14,70	29,40	2	1	0,33	0,85	0,28	8,33
Mesa de repaso	1	6,65	--	6,65	6,65	1	1	0,33	0,85	0,28	1,88
Plegadoras	1	1,07	--	1,07	1,07	1	1	0,33	0,85	0,28	0,30
Trituradora	2	6,60	--	6,60	13,20	1	0,5	0,80	0,80	0,32	4,22
Incineradora	2	14,70	--	14,70	29,40	1	0,5	0,80	0,80	0,32	9,41
Equipos varios	1	20,00	--	20,00	20,00	1	1	0,17	0,9	0,15	3,00
Televisores	200	0,20	--	0,20	40,00	200	1	0,04	0,9	0,04	1,50
TOTAL				1185,46		TOTAL				341,80	
13. Mantenimiento y talleres											
Torno	1	3,5	--	3,50	3,50	1	1	0,04	0,9	0,04	0,13
Taladro	1	1,00	--	1,00	1,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,04
Grupo Soldadura	1	8	--	8,00	8,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,30
Rectificadora	1	1	--	1,00	1,00	1	1	0,04	0,9	0,04	0,04
TOTAL				13,50		TOTAL				0,51	
14. Cubierta											
Chigres	4	100	0,95	105,82	423,28	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Molinete	2	48,06	0,935	51,40	102,80	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Pescante botes salvavidas	4	84,00	--	84,00	336	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Pescante botes rescate	2	32	--	32	64	0	0	0,00	0,00	0,00	0
Pescante balsas	4	22	--	22	88	0	0	0,00	0,00	0,00	0
TOTAL				926,08		TOTAL				0,00	

15. Control y comunicación											
Equipos radio	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9	4,5
Equipos Navegación	1	6,00	--	6,00	6,00	1	1	1	0,9	0,9	5,4
Automatización	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9	4,5
Megafonía	1	4,00	--	4,00	4,00	1	1	0,2	0,9	0,18	0,72
Equipos detección de incendios	1	3	--	3,00	3,00	1	1	1	0,9	0,9	2,7
Puertas estancas	15	19,20	--	19,20	288,00	0	0	0	0	0	0
TOTAL				311,00		TOTAL				17,82	
16. Alumbrado											
Alumbrado Principal	1	132,94	--	132,94	132,94	1	1	0,83	0,7	0,58	77,55
Alumbrado de Emergencia	1	47,91	--	47,91	47,91	0	0	0,00	0	0,00	0,00
TOTAL				180,85		TOTAL				77,55	
						TOTAL BALANCE ELÉCTRICO					2962,53
						SRtP					Kw

Tabla 9: Balance eléctrico condición de SRtP

5.3.5 Condición de emergencia

Solo se considerarán los servicios esenciales del buque, sin contar con la propulsión y las comodidades del hotel. El consumo de esta situación determinará la elección del generador de emergencia. Como ya se ha visto previamente, los equipos que han de funcionar durante la situación de emergencia y los tiempos vienen estipulados en el capítulo II-I del SOLAS parte D, regla 42.

Los compresores de aire de arranque, los precalentadores y las bombas de aceite lubricante para el motor principal o los motores auxiliares también deben estar conectados al cuadro de distribución de emergencia, aunque pueden estar equipados para la desconexión automática. Para llevar a cabo el balance de emergencia también se considera la ventilación de la cámara de máquinas para poder arrancar los motores principales y el aire acondicionado de las safe areas para asegurar el bienestar del pasaje.

EMERGENCIA

EQUIPO	Nº	POTENCIA UTIL (KW)	ηe	POTENCIA ABS (KW)	POTENCIA TOTAL (KW)	Nº ON	Kn	Ks	Kr	Ku	POTENCIA NECESARIA (KW)
1. Propulsión											
Propulsores	2	3800	0,92	4129,37	8258,73	0	0	0	0	0,0	0,00
Hélice transversal	1	858	0,95	902,21	902,21	0	0	0	0	0	0
TOTAL					9160,94	TOTAL					0,00
2. Refrigeración											
Bomba agua salada	4	27,10	0,92	29,45	117,82	0	0	0	0	0	0
Bomba agua dulce LT	4	24,00	0,92	26,09	104,35	0	0	0	0	0	0
Bomba precalent.	4	1,64	0,84	1,94	7,76	4	1,0	0,80	0,9	0,72	5,59
TOTAL					229,92	TOTAL					5,59
3. Lubricación											
Bomba prelubricación	4	2,90	0,855	3,39	13,57	4	1	0,8	0,9	1	10
Separador de aceite	4	0,75	--	0,75	0,75	0	0	0	0	0	0
Bomba de trasiego	4	0,9	81%	1,11	4,42	0	0	0	0	0	0
TOTAL					18,74	TOTAL					9,77
4. Combustible											
Bomba suministro MDO	4	4	0,866	4,62	18,48	0	0	0	0	0	0,00
Bomba trasiego MDO	2	18	0,912	19,74	39,47	0	0	0	0	0	0,00
Separador de combustible diésel	2	1,4	0,828	1,69	3,38	0	0	0	0	0	0,00
Bomba alimentación separador diésel	2	1,5	0,828	1,81	3,62	0	0	0	0	0	0,00
TOTAL					64,95	TOTAL					0,00
5. Sistema de aire											
Compresor de aire de arranque	2	9,6	0	9,60	19,20	2	1	0,25	0,9	0,225	4,32
TOTAL					19,20	TOTAL					4,32
6. Sentinas											
Bomba de sentinas	4	11,52	0,906	12,72	50,86	1	0,25	1	0,9	0,225	11,44
Separador de sentinas	1	6	--	6,00	6,00	0	0	0	0	0	0
TOTAL					56,86	TOTAL					11,44

7. Lastre											
Bomba de lastre	1	7,2	0,887	8,12	8,12	0	0	0	0	0	0,00
TOTAL				8,12	TOTAL				0,00		
8. Contraincendios											
Bomba de CI	3	4,17	0	4,75	14,26	2	0,667	1	0,9	0,6	8,558722919
Bomba de CI Emergencia	1	60	94%	63,83	63,83	1	1	1	0,9	0,9	57,44680851
TOTAL				78,09	TOTAL				66,01		
9. Agua sanitaria											
Bomba suministro	2	41,19	0,931	44,24	88,49	0	0	0	0	0,00	0
Bomba circulación	2	1,40	0,828	1,69	3,38	0	0	0	0	0,00	0
Calentador	5	40,00	--	40,00	200,00	0	0	0	0	0,00	0
Generador	2	30	--	30,00	60,00	0	0	0	0	0,00	0
Planta TAR	1	11	--	11,00	11,00	0	0	0	0	0,00	0
TOTAL				362,87	TOTAL				0		
10. Ventilación y aire acondicionado											
Ventilador CM	4	18,5	--	18,50	74,00	4	1	1	0,9	0,90	66,60
Extractor CM	4	5,50	--	5,50	22,00	4	1	1	0,9	0,90	19,80
Planta A/C MVZ 1	1	375,00	--	375,00	375,00	1	1	1	0,2	0,30	112,50
Planta A/C MVZ 2	1	566	--	566,00	566,00	1	1	1	0,2	0,20	113,20
Planta A/C MVZ 3	1	439	--	439,00	439,00	1	1	1	0,2	0,20	87,80
TOTAL				1476,00	TOTAL				399,90		
11. Medios de elevación											
Ascensores	6	5,4	--	5,40	32,40	6	1	0,02	0,7	0,01	0,47
Montacargas	3	0,5	--	0,50	1,50	3	1	0,02	0,7	0,01	0,02
Montaplatos	2	1,1	--	1,10	2,20	0	0	0,00	0	0,00	0,00
Grúa	2	5	--	5,00	10	0	0	0,00	0	0,00	0,00
TOTAL				46,10	TOTAL				0,49		
12. Hotel y fonda											
Cocina eléctrica	4	16	--	16	64	0	0	0	0	0	0
Cocina de inducción	2	20	--	20	40	0	0	0	0	0	0
Plancha	2	16	--	16	32	0	0	0	0	0	0

Anexo XI/Cuaderno 11: Diseño de la planta eléctrica

Lucía Barreiro Varela

Parrillas	2	15	--	15	30	0	0	0	0	0	0
Cocedores	2	24	--	24	48	0	0	0	0	0	0
Marmitas	2	22	--	22	44	0	0	0	0	0	0
Horno	4	31,2	--	31,2	124,8	0	0	0	0	0	0
Lavavajillas	2	6,2	--	6,2	12,4	0	0	0	0	0	0
Freidoras	2	24	--	24	48	0	0	0	0	0	0
Gambuzas refrigeradas	8	16	--	16	128	0	0	0	0	0	0
Frigorífico	3	2,38	--	2,38	7,14	0	0	0	0	0	0
Lavadora	6	22	--	22	132	0	0	0	0	0	0
Secadoras	6	55,9	--	55,9	335,4	0	0	0	0	0	0
Calandras	2	14,7	--	14,7	29,4	0	0	0	0	0	0
Mesa de repaso	1	6,65	--	6,65	6,65	0	0	0	0	0	0
Plegadoras	1	1,07	--	1,07	1,07	0	0	0	0	0	0
Trituradora	2	6,6	--	6,6	13,2	0	0	0	0	0	0
Incineradora	2	14,7	--	14,7	29,4	0	0	0	0	0	0
Equipos varios	1	20	--	20	20	0	0	0	0	0	0
Televisores	200	0,2	--	0,2	40	0	0	0	0	0	0
TOTAL					1185,46	TOTAL					0
13. Mantenimiento y talleres											
Torno	1	3,5	--	3,50	3,50	0	0	0	0	0,00	0
Taladro	1	1,00	--	1,00	1,00	0	0	0	0	0,00	0
Grupo Soldadura	1	8	--	8,00	8,00	0	0	0	0	0,00	0
Rectificadora	1	1	--	1,00	1,00	0	0	0	0	0,00	0
TOTAL					13,50	TOTAL					0
14. Cubierta											
Chigres	4	100	0,95	105,82	423,28	0	0	0	0	0	0
Molinete	2	48,06	0,935	51,40	102,80	0	0	0	0	0	0
Pescante botes salvavidas	4	84,00	--	84,00	336	4	1	0,17	0,90	0,15	50,4
Pescante botes rescate	2	32	--	32	64	2	1	0,17	0,90	0,15	9,6
Pescante balsas	4	22	--	22	88	4	1	0,17	0,90	0,15	13,2
TOTAL					926,08	TOTAL					60,00

15. Control y comunicación											
Equipos radio	1	5	--	5,00	5,00	1	1	1	0,9	0,9	4,5
Equipos Navegación	1	6,00	--	6,00	6,00	1	1	1	0,9	0,9	5,4
Automatización	1	5	--	5,00	5,00	0	0	0	0	0	0
Megafonía	1	4,00	--	4,00	4,00	1	1	1	0,9	0,9	3,6
Equipos detección de incendios	1	3	--	3,00	3,00	1	1	1	0,9	0,9	2,7
Puertas estancas	15	19,20	--	19,20	288,00	15	1	0,02	0,9	0,01875	5,4
TOTAL				311,00		TOTAL				21,60	
16. Alumbrado											
Alumbrado Principal	1	132,94	--	132,94	132,94	0	0	0,0	0	0,00	0,00
Alumbrado de Emergencia	1	47,91	--	47,91	47,91	1	1	1,00	0,9	0,90	43,12
TOTAL				180,85		TOTAL				43,12	
						TOTAL BALANCE ELÉCTRICO					622,24
						EMERGENCIA					Kw

Tabla 10: Balance eléctrico condición de Emergencia

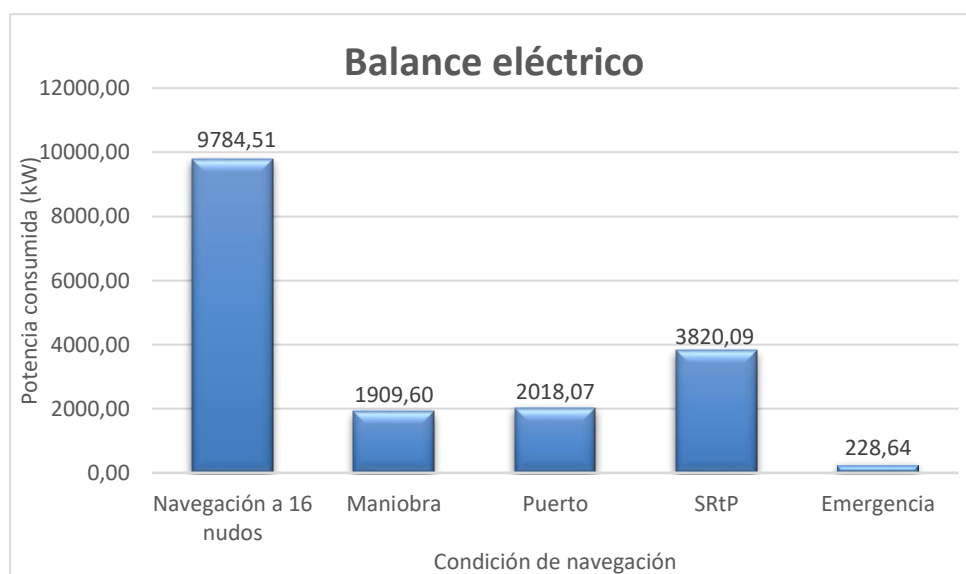
5.4 Resultados finales

A continuación, se muestra los resultados obtenidos para las condiciones de navegación estudiadas:

Tabla 11: Resultados balance eléctrico

SISTEMA	Navegación a 16 nudos	Maniobra	Puerto	SRtP	Emergencia
1. Propulsión	7433,82	1371,83	0,00	966,27	0,00
2. Refrigeración	79,98	47,23	47,23	42,78	5,59
3. Lubricación	1,28	5,53	5,53	5,53	9,77
4. Combustible	23,38	12,95	12,95	4,32	0,00
5. Sistema de aire	4,32	4,32	4,32	4,32	4,32
6. Sentinas	7,52	7,52	7,52	7,52	11,44
7. Lastre	0,00	0,00	6,57	0,00	0,00
8. Contraincendios	0,00	0,00	0,00	0,00	66,01
9. Agua sanitaria	95,64	95,64	95,64	95,64	0,00
10. Ventilación y aire acondicionado	1383,60	1383,60	1383,60	1390,26	399,90
11. Medios de elevación	8,21	8,21	9,40	8,21	0,49
12. Hotel y fonda	341,80	341,80	341,80	341,80	0,00
13. Mantenimiento y talleres	0,51	0,51	0,51	0,51	0,00
14. Cubierta	0,00	40,25	40,25	0,00	60,00
15. Control y comunicación	17,82	17,82	12,42	17,82	21,60
16. Alumbrado	77,55	77,55	77,55	77,55	43,12
TOTAL (kW)	9949,20	3414,74	2045,28	2962,53	622,24

Como se puede contemplar la situación más desfavorable es la situación de navegación a la velocidad de servicio. Esto ocurre porque es la condición en la cual la propulsión, que constituye el principal consumidor, es más demandante. Por tanto, la planta generadora a ha de dimensionarse con capacidad suficiente para hacer frente a esta situación.



Gráfica 1: Resultados balance eléctrico

6 PLANTA GENERADORA

Una vez que ya se conoce el consumo de potencia del buque para las diferentes condiciones de navegación ya se puede dimensionar la planta generadora. En este apartado dimensionaremos en primer lugar la planta principal cerciorándonos de satisfacer la demanda en la condición más desfavorable y en segundo lugar se dimensionará el generador de emergencia a partir de la condición de emergencia planteada.

6.1 Generadores principales

La planta principal estará formada por los grupos electrógenos cuya finalidad es producir la energía eléctrica que se consumirá tanto en la propulsión del buque proyecto como en todos los equipos auxiliares. Cada grupo electrógeno consta de un generador eléctrico y de un motor diésel que lo acciona. Como ya se ha mencionado, para el dimensionamiento de la planta principal es necesario tener en cuenta la situación más desfavorable que en este caso se trata de la condición de navegación a 16 kn ($P=9784.5$ kW). Para la selección de los generadores principales también será necesario considerar otra serie de factores:

- MCR del motor generador. El MCR no debe tener un valor demasiado alto o bajo rondando el 85%. Se tomarán como valores aceptables entre el 75 y el 90%.
- Espacio disponible en la cámara de máquinas. La cámara de máquinas cuenta con una eslora total de 14 metros y una manga de 12 metros por lo cual el conjunto generador no debe tener una longitud superior a 11 metros para poder disponer de al menos 1.5 metros de margen a cada extremo.
- El "Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar" prescribe en su Capítulo II, parte C, exige que se disponga de al menos dos grupos generadores independientes capaces de satisfacer el consumo de energía en caso de avería de cualquier grupo generador. Esta normativa no incluye la propulsión eléctrica por lo cual no es necesario que la potencia total se suministre con $n-1$ generadores ya que los servicios esenciales siempre estarán cubiertos con el funcionamiento de al menos un grupo.
- Que cuantos más grupos se ponga más aumentará en número las operaciones de puesta en paralelo y por tanto más compleja resultará la instalación.
- Teniendo en cuenta la base de datos, los buques similares al buque proyecto suelen llevar cuatro grupos generadores de la misma potencia.

Finalmente, se decidirá por la disposición de cuatro grupos generadores, dos en cada cámara de máquinas al tener suficiente espacio para alojarlos. Los motores estudiados serán del fabricante MAN. En la siguiente gráfica se presentan los grupos generadores aportados por el fabricante:

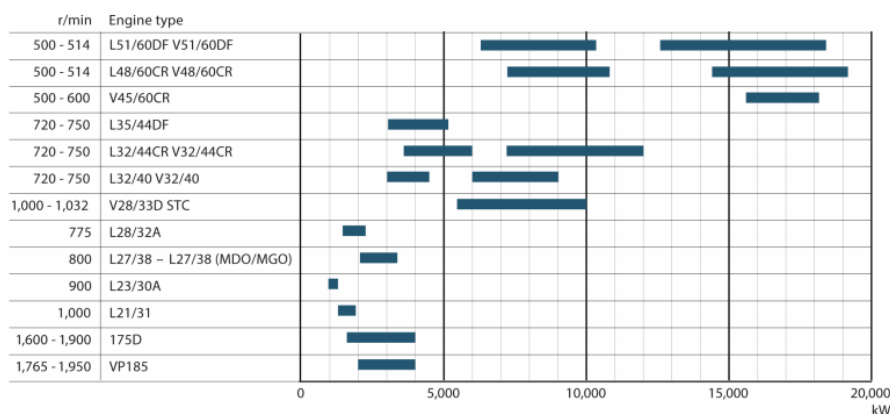


Figura 10: Motores MAN

Como se puede comprobar los motores que pueden resultar adecuados para el buque proyecto son:

- L37/38
- L32/40
- L35/44CR

La potencia suministrada variará en función del número de cilindros. La potencia resultante empleada para la comparativa será la potencia del motor diésel dado que la eficiencia del generador ya se tuvo en cuenta para calcular la eficiencia de la planta propulsora. Dentro de cada modelo se presentan a continuación las opciones a estudiar:

Tabla 12: Potencia entregada por los diferentes motores

Tipo Motor Diésel	Número de cilindros	Potencia entregada (kW)
L32/40	6	3000
L32/44CR	6	3600
L27/38	7	2555
L27/38	8	2920
L27/39	9	3285

Lo más recomendable es que la plata esté compuesta por motores del mismo tipo para facilitar las actividades de mantenimiento, aunque puede significar que en condiciones menos demandantes el régimen de servicio sea inadecuado. A continuación, se muestra una tabla con las combinaciones estudiadas:

Tabla 13: Posibles combinaciones motores

Condición más desfavorable				
Combinaciones	Nº	Potencia total (kW)	Navegando a 16 kn	MCR %
4x6L32/40	1	12000	9949,20	83%
4x6L32/44CR	2	14400	9949,20	69%
4x7L27/38	3	10220	9949,20	97%
4x8L27/38	4	11680	9949,20	85%
4x9L27/38	5	13140	9949,20	76%
2x6L32/44CR 2x7L27/38	6	12310	9949,20	81%
3xL72/38 1x6L32/44CR	7	11265	9949,20	88%
2x6L32/40 2x8L27/38	8	11840	9949,20	84%

Como se puede comprobar los mejores resultados se obtienen con la combinación número 1, 4 y 8 mientras que el resto tienen un MCR demasiado alto o bajo. En primer lugar, se descarta la opción número 8 porque complicaría las tareas de mantenimiento y significaría llevar a bordo repuestos de dos tipos de motores.

Finalmente nos decantamos por instalar cuatro equipos del tipo 6L32/40 que pese a tener un MCR un poco más bajo que la combinación 4 que se encuentra más cercana al 85% nos ofrece un mayor margen para la instalación en un futuro de equipos con mayor consumo o el aumento del consumo eléctrico como resultado del desgaste de los equipos con el tiempo.

Las características del grupo generador se muestran a continuación:

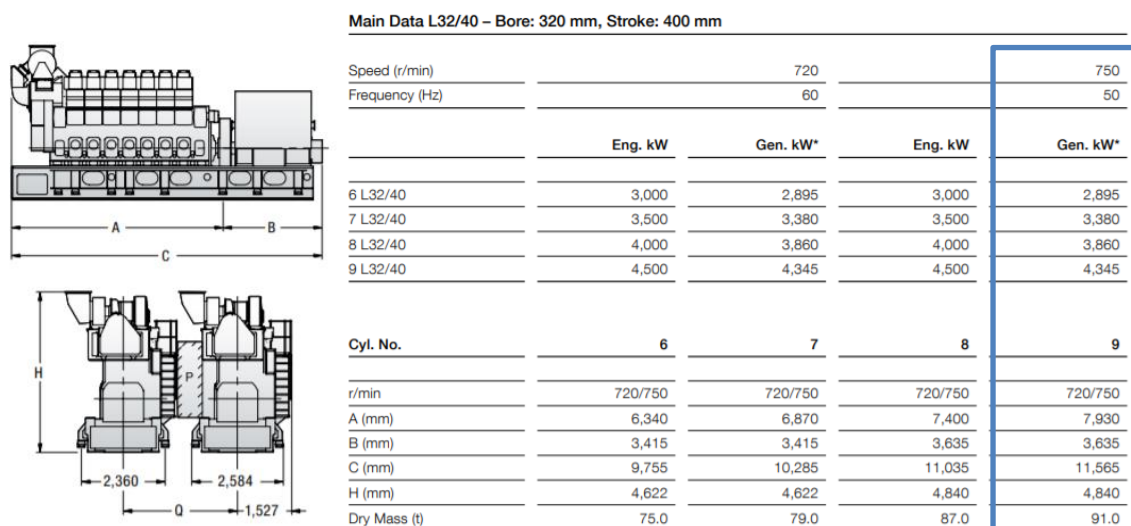


Figura 11: Características motor

En la siguiente tabla se muestran con los cálculos del MCR para las distintas consideraciones de carga, y número de generadores en funcionamiento.

Tabla 14: MCR %

Condición	Potencia consumida (kW)	Generadores operativos	Potencia disponible (kW)	MCR %
Navegación a 16 kn	9949,20	4X6L32/40	12000	83
Maniobra	3414,74	2X6L32/41	6000	57
Puerto	2045,28	1X6L32/42	3000	68
SRtP	2962,53	2X6L32/43	6000	49

Como se puede observar para la condición de Puerto, Maniobra y SRtP se encuentran un poco por debajo del MCR recomendado, pero no suponen un rango de valores demasiado bajos. Por último, realizamos un pequeño estudio sobre la potencia de respuesta rápida denominada Pick-up y de la que se dispone de reserva en stand-by (generadores desconectados) para cada condición de operación.

Tabla 15 :Potencia Stand-by y Pick-up

POTENCIA STAND-BY %				
Generador	Navegación a 16 kn	Maniobra	Puerto	SRtP
1-6L32/40	17,09	43,09	31,82	50,62
2-6L32/40	17,09	STAND-BY	STAND-BY	50,62
3-6L32/40	17,09	STAND-BY	STAND-BY	STAND-BY
4-6L32/40	17,09	STAND-BY	STAND-BY	STAND-BY
TOTAL	68,36	43,09	31,82	101,25

POTENCIA STAND-BY %				
Generador	Navegación a 16 kn	Maniobra	Puerto	SRtP
1-6L32/40	0	0	0	0
2-6L32/40	0	100	100	0
3-6L32/40	0	100	100	100
4-6L32/40	0	100	100	100
TOTAL	0,00	300,00	300,00	200,00
POTENCIA RESERVA STAND-BY + PICK-UP %				
	Navegación a 16 kn	Maniobra	Puerto	SRtP
	68,36	343,09	331,82	301,25

6.2 Planta generadora de emergencia

Del balance eléctrico en la condición de emergencia se obtuvo la siguiente potencia:

$$P_{\text{emergencia}} = 622.24 \text{ kW}$$

Al igual que para el modelo principal se dimensionará el generador para un 85% del MCR.

$$P_{\text{emergencia } 85\%} = \frac{622.24}{0.85} = 732 \text{ kW}$$

El modelo seleccionado será el L16/24 con 8 cilindros del fabricante MAN, al igual que los grupos generadores principales con una potencia suministrada de 722kW por lo cual funcionará al 86% del MCR. (Ver Anexo). El generador de emergencia irá situado de acuerdo el SOLAS, sobre la cubierta principal, en un local a popa de la superestructura, e ira provisto de todos los elementos necesarios para garantizar su funcionamiento.

8 CABLES

Los cables instalados en la planta eléctrica estarán (polietileno reticulado) compuestos por cobre recocido clase 2 IEC 60228 como material conductor, un aislamiento formado de polietileno Recalado libre de halógenos (HF XLPE) IEC 60092-351 y un recubrimiento y una cubierta exterior de Poliolefina termoplástica libre de alógenos (SHF1) IEC 60092-359.

La temperatura nominal del aislamiento debe de ser al menos 10°C superior a la temperatura máxima que puede existir en la zona por donde circula el cableado. Cuando los cables están a la intemperie o en locales húmedos deben llevar una cubierta estanca. Los cables del tipo seleccionado tienen una temperatura nominal de aislamiento de 90°C.

8.1 Tipología y dimensionado de cables

Para dimensionar los cables se seguirá el siguiente procedimiento.

- Se calcula la intensidad del circuito teniendo en cuenta un coseno de phi genérico de 0.9. La intensidad se calculará aplicando las siguiente fórmulas:

Máquina	Corriente [kA]	Leyenda
Alternador	$P_r / (\sqrt{3} * U_r * \cos \varphi_{\text{Instal}})$	P_r : Potencia [kW] U_r : Voltaje [V] $\cos \varphi$: Factor de Potencia de la instalación (= 0.9)
Transformador	$S_r / (\sqrt{3} * U_r)$	S_r : Potencia Aparente[kVA] U_r : Voltaje [V]
Motor controlador por Variador de Potencia	$P_r / (\sqrt{3} * U_r * \cos \varphi_{\text{Convertidor}} * \eta_{\text{Motor}} * \eta_{\text{Convertidor}})$	P_r : Potencia [kW] U_r : Voltaje [V] $\cos \varphi$: Factor de potencia del Convertidor (típico= 0.95) η_{Motor} : típico= 0.96 $\eta_{\text{Convertidor}}$: típico = 0.97
Motor (Arranque: Directo, Y/Δ, Arrancador suave)	$P_r / (\sqrt{3} * U_r * \cos \varphi_{\text{Motor}} * \eta_{\text{Motor}})$	P_r : Potencia[kW] U_r : Voltaje [V] $\cos \varphi$: Factor de potencia del Motor (típico= 0.85...0.90) η_{Motor} : típico = 0.96

- A continuación, se elige la sección normalizada en función de la intensidad calculada de la siguiente tabla:

Table J6 Rating of cables with temperature class 90°C						
Nominal cross-section (mm²)	Current rating (A) (Based on ambient temperature 45°C)					
	Single-core		2-core		3 or 4-core	
1	18		15		13	
1.5	23		20		16	
2.5	30		26		21	
4	40		34		28	
6	52		44		36	
10	72		61		50	
16	96		82		67	
25	127		108		89	
35	157		133		110	
50	196		167		137	
70	242		206		169	
95	293		249		205	
120	339		288		237	
150	389		331		272	
185	444		377		311	
240	522		444		365	
300	601		511		421	
	DC	AC	DC	AC	DC	AC
400	690	670	587	570	483	469
500	780	720	663	612	546	504
600	890	780	757	663	623	546

- En caso de que sea necesario, se instalarán más de un único cable.

Se tendrá en cuenta que la sección de los cables no sea superior a 120 mm² ya que un tamaño mayor dificultaría en gran medida las labores de instalación a bordo. Cuando más de 6 cables estén agrupados o colocados juntos impidiendo que el aire circule libremente a su alrededor, hay que aplicar un factor de corrección de 0,85 a los valores de corriente. Por otro lado, el dimensionado de los cables debe ser tal que las caídas de tensión producidas no son superiores al 5%, valor límite establecido por la Sociedad de Clasificación.

A continuación, se muestra una tabla con los resultados obtenidos:

Tabla 16: Dimensionamiento de los cables

Equipo	Potencia abs. (kW)	Voltaje (V)	Intensidad abs. (A)	Cable Nº/Tipo
1. Propulsión				
Propulsores	4129,4	3000	883,00	4/3x120
Hélice transversal	902,2	3000	192,92	1/3x95
2. Refrigeración				
Bomba agua salada	29,5	400	47,24	1/3x10
Bomba agua dulce LT	26,1	400	41,84	1/3x10
Bomba precalent.	1,9	400	3,11	1/3x1
Precalentador	19,7	400	31,65	1/3x6
3. Lubricación				
Bomba lubricación	28,0	400	44,83	1/3x10
Bomba prelubricación	3,4	400	5,44	1/3x1
Separador de aceite	0,8	400	1,20	1/3x1
Precalentador lubricación	76,2	400	122,18	1/3x50
Bomba de trasiego	1,1	400	1,77	1/3x1
4. Combustible				
Bomba suministro MDO	4,6	400	7,41	1/3x1
Bomba trasiego MDO	19,7	400	31,65	1/3x6
Separador de combustible diésel	1,7	400	2,71	1/3x1
Bomba alimentación separador	1,8	400	2,91	1/3x1
Precalentador del separador	20,7	400	33,27	1/3x6
5. Sistema de aire				
Compresor de aire de arranque	9,6	400	15,40	1/3x1,5
6. Sentinas				
Bomba de sentinas	12,7	400	20,39	1/3x4
Separador de sentinas	6,0	400	9,62	1/3x1
7. Lastre				
Bomba de lastre	8,1	400	13,02	1/3x1,5
8. Contraincendios				
Bomba de CI	4,8	400	7,63	1/3x1
Bomba de CI Emergencia	63,8	230	178,03	1/3x95
9. Agua sanitaria				
Bomba suministro	44,2	400	70,95	1/3x25
Bomba circulación	1,7	400	2,71	1/3x1
Calentador	40,0	400	64,15	1/3x16
Generador	30,0	400	48,11	1/3x10

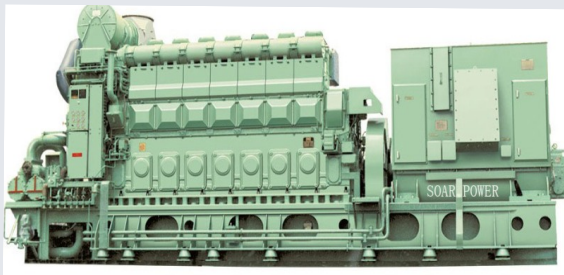
Planta TAR	11,0	400	17,64	1/3x2,5
10. Ventilación y aire acondicionado				
Ventilador CM	18,5	400	29,67	1/3x6
Extractor CM	5,5	400	8,82	1/3x1
Planta A/C MVZ 1	375,0	400	601,41	3/3x95
Planta A/C MVZ 2	566,0	400	907,72	4/3x120
Planta A/C MVZ 3	439,0	400	704,05	3/3x120
11. Medios de elevación				
Ascensores	5,4	230	15,06	1/3x2,5
Montacargas	0,5	230	1,39	1/3x1
Montaplatos	1,1	230	3,07	1/3x1
Grúa	5,0	230	13,95	1/3x1,5
12. Hotel y fonda				
Cocina eléctrica	16,0	400,00	25,66	1/3x4
Cocina de inducción	20,0	400,00	32,08	1/3x6
Plancha	16,0	400,00	25,66	1/3x4
Parrillas	15,0	400,00	24,06	1/3x4
Cocedores	24,0	400,00	38,49	1/3x10
Marmitas	22,0	400,00	35,28	1/3x10
Horno	31,2	400,00	50,04	1/3x16
Lavavajillas	11,0	230,00	30,68	1/3x6
Freidoras	24,0	400,00	38,49	1/3x10
Gambuzas refrigeradas	16,0	400,00	25,66	1/3x4
Frigorífico	2,4	230,00	6,64	1/3x1
Lavadora	22,0	400,00	35,28	1/3x10
Secadoras	55,9	400,00	89,65	1/3x35
Calandras	14,7	400,00	23,58	1/3x4
Mesa de repaso	6,7	230,00	18,55	1/3x4
Plegadoras	1,1	230,00	2,98	1/3x1
Trituradora	6,6	230,00	18,41	1/3x2,5
Incineradora	14,7	230,00	41,00	1/3x10
Equipos varios	20,0	230,00	55,78	1/3x16
Televisores	0,2	230,00	0,56	1/3x1
13. Mantenimiento y talleres				
Torno	3,5	230	9,76	1/3x1
Taladro	1,0	230	2,79	1/3x1
Grupo Soldadura	8,0	230	22,31	1/3x4
Rectificadora	1,0	230	2,79	1/3x1
14. Cubierta				
Chigres	105,8	400	169,71	1/3x95
Molinete	51,4	400	82,43	1/3x95
Pescante botes salvavidas	84,0	400	134,72	1/3x70
Pescante botes rescate	32,0	400	51,32	1/3x16
Pescante balsas	22,0	400	35,28	1/3x10
15. Navegación, comunicación y electrónica				
Equipos radio	5,0	230	13,95	1/3x1,5
Equipos Navegación	6,0	230	16,73	1/3x2,5

Automatización	5,0	230	13,95	1/3x2,5
Megafonía	4,0	230	11,16	1/3x2,5
Equipos detección de incendios	3,0	230	8,37	1/3x1
Puertas estancas	19,2	230	53,55	1/3x16
16. Alumbrado				
Alumbrado Principal	132,9	230	370,80	2/3x95
Alumbrado de Emergencia	47,9	230	133,63	1/3x70

ANEXO XI.I: CATÁLOGO GRUPO GENERADOR Y GRUPO GENERADOR DE EMERGENCIA

MAN L32/40 GenSet

2,895-4,345 kW



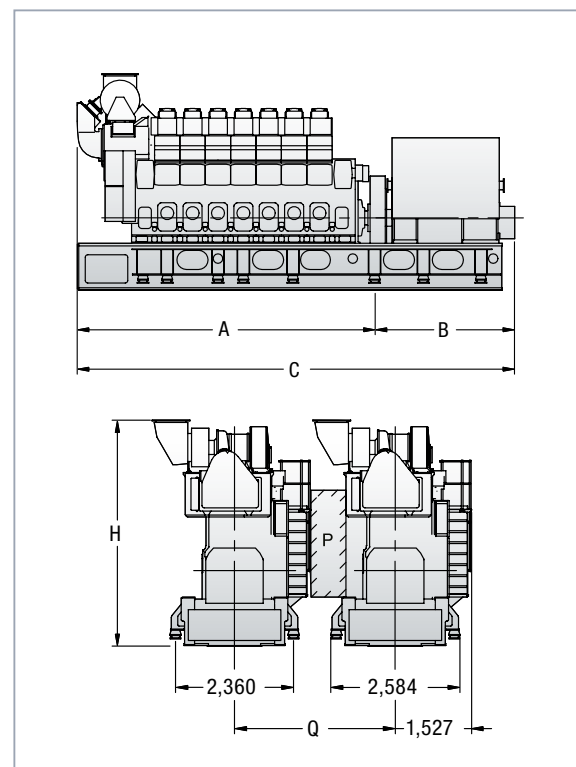
Powered by 4 x L32/40 GenSets

The L32/40 GenSet engine with an output of 500 kW per cylinder has an optimal combination of capital cost, performance and reliability.

Benefits

The L32/40 range run on inexpensive HFO from stand-by to full load. Twin camshafts provide unsurpassed flexibility – permitting a wide range of choices between optimal output/fuel ratio and minimised emissions. One camshaft drives the fuel injection pumps and operates the starting air pilot valves; the other operates the inlet and exhaust valves.

Supplied as an in-line engine with 6-9 cylinders, it is a perfectly balanced GenSet, designed to provide trouble-free operation for a quarter of a century or more in the largest vessels in the world fleet. Engines in the L32/40 family are in operation with some of the world's leading shipping lines.



P: Free passage between the engines, width 600 mm and height 2,000 mm

Q: ~Min. distance between centre of engines: 2,835 mm (without gallery) ~3,220 mm (with gallery)



Main Data L32/40 – Bore: 320 mm, Stroke: 400 mm

Speed (r/min)	720		750	
Frequency (Hz)	60		50	
	Eng. kW	Gen. kW*	Eng. kW	Gen. kW*
6 L32/40	3,000	2,895	3,000	2,895
7 L32/40	3,500	3,380	3,500	3,380
8 L32/40	4,000	3,860	4,000	3,860
9 L32/40	4,500	4,345	4,500	4,345

Cyl. No.	6	7	8	9
r/min	720/750	720/750	720/750	720/750
A (mm)	6,340	6,870	7,400	7,930
B (mm)	3,415	3,415	3,635	3,635
C (mm)	9,755	10,285	11,035	11,565
H (mm)	4,622	4,622	4,840	4,840
Dry Mass (t)	75.0	79.0	87.0	91.0

* Based on nominal generator efficiencies of 96.5%
Weight and dimensions based on a standard alternator

Facts and figures

- exhaust valves with rotators clean the valve seats for long TBOs and long lifetimes
- quick-acting connections at exhaust gas manifold
- highly efficient constant pressure turbocharging
- adjustable valve timing
- split connecting rod for easy maintenance
- dynamically balanced crankshaft with two counterweights per crank web
- stepped piston combined with a fire ring prevents bore polishing
- separate jacket for each cylinder ensures optimal piston running conditions
- no cooling water in the lower liner area and frame ensures an even temperature and eliminates the risk of cooling water contaminating the lube oil.



URL: <http://www.soar.hk>
E-mail: sale@soar.hk
Phone: +86-4008111308

L16/24 Main Data

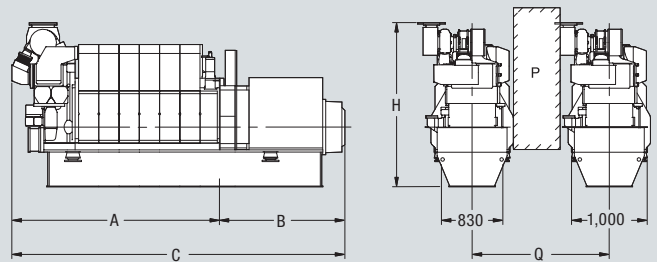
Output and dimensions

TCR with RCF33 wheel. The use of MAN type TCR radial turbochargers equipped with the RCF33 compressor wheel can alleviate the NO_x-SFOC trade off. The better pressure ratio of the turbocharger increases the efficiency of the engine and thus compensates the increase in SFOC normally associated with the lower NO_x emissions. The higher compressor pressure ratio also increases the scope for Miller valve timing.

Miller valve timing. To reduce the temperature peaks which favour the formation of NO_x, Miller valve timings are employed. This method denotes the early closure of the inlet valve which causes the charge air to expand and cool. The resulting reduction in combustion temperature reduces NO_x emissions.

Retarded injection. As a counter-measure to the formation of NO_x at high combustion temperatures, injection timing is retarded. Combustion heat release is thus delayed resulting in lower combustion chamber temperatures.

Increased compression ratio. The use of a new piston contributes to compliance with the new, stricter IMO Tier II limit values. A higher compression ratio is achieved which leads to a faster reduction in temperature after the ignition of the fuel and thus reduced NO_x formation. In addition, the increase in compression ratio compensates the reduction in firing temperature due to retarded injection and hence the associated increase in SFOC.



Speed (r/min)	1,200		1,000	
Frequency (Hz)	60		50	
	Eng. kW	Gen. kW*	Eng. kW	Gen. kW*
5L16/24	500	475	450	430
6L16/24	660	625	570	542
7L16/24	770	730	665	632
8L16/24	880	835	760	722
9L16/24	990	940	855	812

Cyl. No.	5	6	7	8	9
A (mm)	2,751	3,026	3,501	3,776	4,051
B (mm)	1,400	1,490	1,585	1,680	1,680
C (mm)	4,151	4,516	5,086	5,456	5,731
H (mm)	2,457	2,457	2,495/2,457	2,495	2,495
Dry Mass (t)	9.5	10.5	11.4	12.4	13.1

Bore	160 mm
Stroke	240 mm
Cycle	Four-stroke
Cyl. configuration	In-line
Power range	450-990 kW
Speed (60/50 Hz)	1,000/1,200 r/min
Mean piston speed	8.0/9.6 m/s
Mean effective pressure	20.7-23.6 bar
Power per cyl.	90-110 kW
Max combustion pressure	170 bar
Fuel acceptance	MDO, MGO and HFO up to 700 cSt/50°C

* Based on nominal generator efficiencies of 95%

P: Free passage between the engines, width 600 mm and height 2,000 mm
Q: Min. distance between centre of engines: 1,800 mm



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo XII

CUADERNO 12: EQUIPOS Y SERVICIOS



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA.....	2
2 Introducción.....	4
3 Equipo de amarre y fondeo	5
4 Dispositivos y medios de salvamento	10
5 Servicio de Achique y sentinas.....	13
5.1 Colector principal de sentinas.....	13
5.2 Bombas de sentinas.....	13
5.3 Separador de sentinas	15
6 Servicio de lastre.....	16
7 Servicio de contraincendios.....	17
7.1 Sistemas de suministro de agua.....	17
7.2 Extintores Portátiles	18
7.3 Instalaciones fijas	19
8 Servicio sanitario	22
8.1 Tanques de agua dulce	22
8.2 Generador de agua dulce.....	23
8.3 Bombas.....	23
8.4 Tanque hidróforo	31
8.5 Calentador de agua.....	33
8.6 Planta de tratamiento de aguas residuales.....	33
9 Tratamiento de basuras.....	36
10 Sistemas de ventilación de la cámara de máquina	37
11 Equipos de elevación y mantenimiento.....	40
12 Sistemas de carga y descarga.....	41
13 Sistema de maniobra.....	42
13.1 Hélice de proa	42
14 Equipo de fonda y hotel.....	44
15 Navegación y comunicaciones	47
16 Sistema de aire acondicionado.....	49
Anexo XII.I: Catálogos comerciales	58

2 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este cuaderno es el dimensionamiento y selección de los equipos y sistemas del buque. Se tratarán los siguientes temas:

- Equipo de amarre y fondeo
- Dispositivos y medios de Salvamento
- Servicio de Sentinas
- Servicio de Lastre
- Servicio Sanitario
- Servicio de Contraincendios
- Sistema de ventilación de la cámara de máquinas y los espacios de carga
- Equipos de elevación y mantenimiento
- Sistemas de Carga / Descarga
- Equipo de fonda y hotel
- Equipos de Navegación y comunicaciones
- Sistema de aire acondicionado
- Calefacción de la carga

Los datos de los que partimos son los siguientes:

Tabla 1: Resumen características buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos
Grupos generadores	4x3600	kW

3 EQUIPO DE AMARRE Y FONDEO

Para llevar a cabo el dimensionamiento de los equipos de amarre y fondeo seguiremos las indicaciones del DNV, que están en consonancia con las reglas del IACS. El primer paso es calcular el número de equipo, el cual se halla siguiendo el Pt.3.Ch11. S1:

$$EN = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2BH + 0.1 * A$$

Siendo Δ el desplazamiento del buque en toneladas, B la manga de trazado, A el área lateral del buque por encima de la línea de francobordo de verano (considerando superestructuras y casetas siempre y cuando estén dentro de la L del buque y con una manga superior a B/4) y H la altura efectiva en metros desde la línea de flotación de carga de verano a la parte superior de la caseta más alta, que se medirá de la siguiente manera:

$$H = a + \sum h_i$$

Donde a es la distancia de la línea de flotación de carga de verano en la cuaderna maestra a la cubierta superior medida en el costado y h la altura de cada nivel de las casetas (con una manga mayor a B/4), como se muestra en la siguiente imagen obtenida del reglamento:

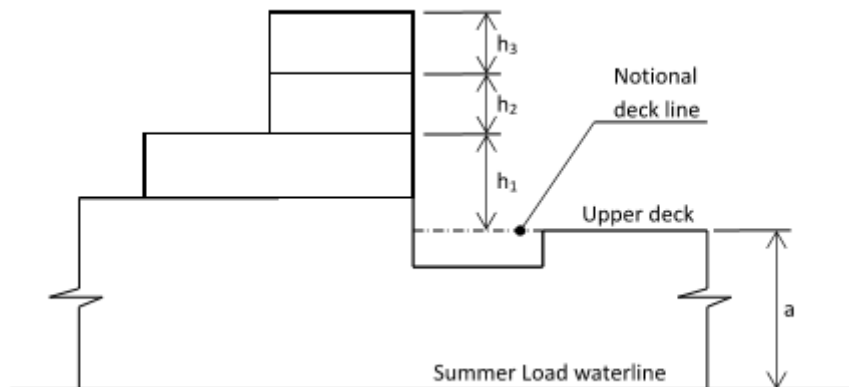


Figura 1: Cálculo de la altura efectiva de la superestructura. DNV.

Por tanto, para nuestro buque:

$$\Delta = 15715t$$

$$B = 24m$$

$$H = (14.8 - 6) + 3 * 6 = 26.8m$$

$$A = 3108 m^2$$

El área lateral ha sido medida empleando la herramienta “Medir Área” del Software AutoCAD, empleando el plano del buque.

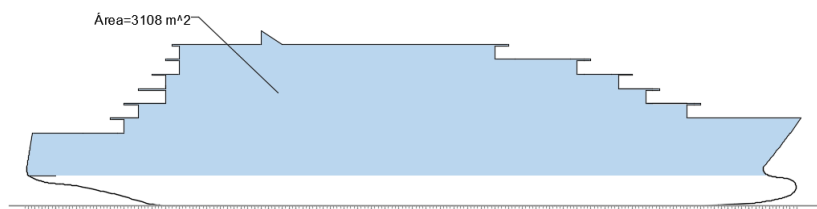


Figura 2: Área lateral

Una vez conocidos todos estos valores ya podemos calcular el número de equipo:

$$EN = 14557^{\frac{2}{3}} + 2 * 24 * 26.8 + 0.1 * 3108 = 2193$$

Entrando en las tablas del DNV con el valor del número de equipo, obtenemos los siguientes resultados:

Equipment number	Equipment letter	Stockless bower anchors		Stud-link chain cables				Towline (guidance)		Mooring lines ¹⁾ (guidance)		
		Number	Mass per anchor kg	Total length	Diameter and steel grade			Steel or fibre ropes		Steel or fibre ropes		
				m	VL K1 mm	VL K2 mm	VL K3 mm	Minimum length m	Minimum breaking strength kN	Number	Length of each m	Minimum breaking strength kN
1390 to 1479	B	2	4320	550	66	58	50	200	836	4	180	324
1480 to 1569	C	2	4590	550	68	60	52	220	888	5	190	324
1570 to 1669	D	2	4890	550	70	62	54	220	941	5	190	333
1670 to 1789	E	2	5250	577.5	73	64	56	220	1024	5	190	353
1790 to 1929	F	2	5610	577.5	76	66	58	220	1109	5	190	378
1930 to 2079	G	2	6000	577.5	78	68	60	220	1168	5	190	402
2080 to 2229	H	2	6450	605	81	70	62	240	1259	5	200	422
2230 to 2379	I	2	6900	605	84	73	64	240	1356	5	200	451
2380 to 2529	J	2	7350	605	87	76	66	240	1453	5	200	480

Figura 3: Equipos de amarre y fondeo en función del numeral de equipo. DNV.

- Número de anclas: 2
- Masa por ancla: 6450 kg
- Longitud total de cadenas: 605 m
- Diámetros de cadenas: 70 mm (para grado K2)
- Carga de rotura cadenas: 2580 kN
- Longitud línea de remolque: 240 m
- Carga de rotura de remolque: 1259 kN
- Líneas de amarre: 5
- Longitud líneas de amarre: 200 m
- Carga de rotura amarre: 422 kN

Con estos datos es posible dimensionar todos los elementos de los servicios de amarre y fondeo.

Como dice el reglamento, necesitaremos dos anclas que irán instaladas una a babor y otra a estribor. Las anclas seleccionadas serán de tipo Hall sin cepo, de acero fundido y con un peso de 6450 kg cada una. Los largos de cadena irán unidos con grilletes tipo Kenter con pasadores de acero inoxidable y la unión del grillete a las cadenas es por medio de un grillete giratorio de horquilla doble.

Dispondremos de dos cajas de cadenas cilíndricas en la proa del buque simétricas con respecto a crujía. El reglamento nos dice lo siguiente:

2.1.4 The chain locker shall have adequate capacity and a suitable form to provide a proper stowage of the chain cable, and an easy direct lead for the cable into the spurling pipes, when the cable is fully stowed. Port and starboard cables shall have separate spaces. If 3 bower anchors and 3 hawse pipes are used, there shall be 3 separate spaces. Spurling pipes and chain lockers shall be watertight up to the weather deck.

Es necesario calcular el volumen de la caja de cadenas cuyo valor viene determinado por a siguiente fórmula:

Chain locker volume function

$$\text{Power function } V_1 = c d_c^b$$

Or

$$\text{Polynomial function } V_1 = c_4 d_c^4 + c_3 d_c^3 + c_2 d_c^2 + c_1 d_c^1 + b$$

Whereby:

V_1 Effective chain locker volume [m³] Volumen por cada 100 m de cadena
 d_c Chain diameter [mm]

Table 2: Power function coefficients

	c	b
Power function	0.000962962	2.001744014

Table 3: Polynomial function coefficients

	c4	c3	c2	c1	b
Polynomial function	2.55346E-09	-7.38665E-07	0.001039204	-0.002422335	0.025432392

$$V(m^3) = 2.55346 * 10^{-9} * 70^4 - 7.38665 * 10^{-7} * 70^3 + 0.001039204 * 70^2 - 0.002422335 * 70 + 0.025432392 = 4.7559 m^3$$

Al aplicar la fórmula tenemos que tener en cuenta que la longitud total de cadenas habrá que dividirlo en dos tramos iguales para formar los dos trenes de fondeo exigidos. Por tanto, los 605 metros de cadena, que equivalen a 22 largos o grilletes (un largo de cadena equivale a 27.5 metros), se dividirán en dos tramos de cadena de 11 largos cada una, es decir, cada tramo de cadena tendrá 302.5 metros. Por tanto, el volumen de cada caja de cadenas resulta:

$$V = 4.7559 * \frac{302.5}{100} = 14.39 m^3$$

Este volumen expresa el volumen necesario para la estiba, pero nos falta por considerar el espacio superior dedicado a la caída de la cadena y al acceso y un espacio inferior para el drenaje de la cadena. En la siguiente imagen se aprecian la división de la altura total de la caja de cadenas:

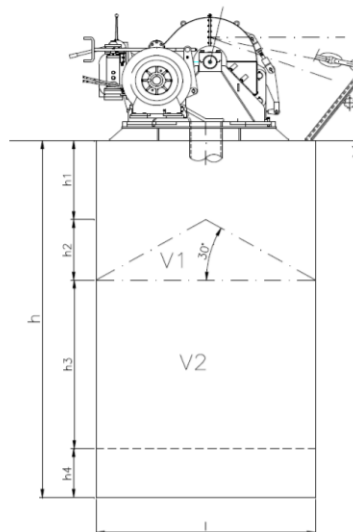


Figura 4: Caja de cadenas

Suponiendo que nuestras cajas de cadenas tienen forma cilíndrica, sabemos que su diámetro debe ser al menos 25 veces mayor al diámetro de la cadena y lo normal es entre 30 y 35 veces mayor. Por tanto, tomaremos el diámetro de la caja de cuaternas como $l = 30 * 70 = 2100mm = 2.1 m$.

La altura total de la caja de cadenas se determina:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

Donde;

- h_1 = altura para caída de la cadena y accesos cuyo valor suele estar comprendido entre 1.5 y 2.8 metros. Nosotros tomaremos un valor intermedio de 2.15 metros.
- $h_2 = \frac{l}{2} * \tan(30) = \frac{2.1}{2} * \tan(30) = 0.60622 m$
- $h_3 = \frac{V_2}{\pi * (\frac{l}{2})^2}$
- h_4 = altura para drenaje de la cadena cuyo valor está comprendido entre 0.6 y 0.8 metros y de nuevo, tomaremos un valor intermedio igual a 0.7 metros.

Conocido el valor de h_2 podemos calcular el volumen del cuerpo cónico V_1 ..

$$V_1 = \frac{1}{3} * \pi * \left(\frac{l}{2}\right)^2 * h_2 = \frac{1}{3} * \pi * 1.05^2 * 0.60622 = 0.7 m^3$$

Conociendo V y V_1 podemos calcular V_2 que será la diferencia entre ambos volúmenes, al obtener este valor podemos calcular h_3 con la fórmula descrita previamente, y finalmente conocer la altura total de la caja de cadenas:

$$V_2 = V - V_1 = 14.39 - 0.7 = 13.69 m^3$$

$$h_3 = \frac{13.69}{\pi * \left(\frac{2.1}{2}\right)^2} = 3.95 m$$

$$h = 2.15 + 0.60622 + 3.95 + 0.7 = 7.4 m$$

En definitiva, habrá que reservar en la proa debajo de los molinetes del ancla, dos espacios cilíndricos de 2.1 metros de diámetro y 7.4 metros de altura.

Para calcular los molinetes del ancla, el DNV establece en Pt. 3 Ch. 11 Sec.1 que deberán de ser capaces de ejercer una determinada fuerza de tracción normal durante 30 minutos con una velocidad de izado de 9 m/min y una fuerza máxima un 50% superior durante al menos 2 minutos sin requisito de velocidad.

Table 12 Lifting power

Lifting force and speed	Grade of chain		
	K1	K2	K3
Normal lifting force for 30 min, in N	$37.5 d_c^2$	$42.5 d_c^2$	$47.5 d_c^2$
Mean hoisting speed	9 m/min.		
Maximum lifting force for 2 minutes (no speed requirement)	1.5 · normal lifting force		
d_c = diameter of chain in mm.			

Figura 5: Cálculo molinetes del ancla. DNV.

Para un grado de acero de cadena K2, las fuerzas exigidas son:

$$T_{normal} = 42.5 * d_c^2 = 42.5 * 70^2 = 208.25 kN$$

$$T_{\text{máx}} = 1.5 * T_{\text{normal}} = 1.5 * 208.25 = 312.375 \text{ kN}$$

Además, el mismo reglamento indica que si la estación de fondeo cuenta con un estopor para trincar la cadena, este deberá ser capaz de ejercer una resistencia del 80% de la carga de rotura de la cadena:

$$T_{\text{estopor}} = 0.8 * 2580 = 2064 \text{ kN}$$

Y el barbotén del molinete con el freno puesto deberá ser capaz de mantenerse estático con una fuerza igual al 45% de la carga de rotura de la cadena:

$$T_{\text{barbotén}} = 0.45 * 2580 = 1161 \text{ kN}$$

Con estos datos podemos estimar la potencia del eje del molinete necesaria, para ello, estimamos un rendimiento total del molinete de un 65%, teniendo en cuenta las pérdidas en la transmisión, en el barbotén y en el escobén:

$$P_{\text{molinete}} = T_{\text{normal}} * \frac{V_{\text{izado}}}{\eta} = 208.25 * \frac{\frac{9}{60}}{0.65} = 48.06 \text{ kW}$$

4 DISPOSITIVOS Y MEDIOS DE SALVAMENTO

Para determinar los dispositivos y medios de salvamento seguiremos el SOLAS ch. III. En dicho capítulo se designan todos los equipos destinados a tal fin necesarios para buques tanto de carga como de pasaje. Se establecen los siguientes

- Dispositivos radioeléctricos de salvamento: todo buque de pasaje debe de contener al menos tres aparatos radiotelefónicos bidireccionales de ondas métricas, así como al menos un dispositivo de localización de búsqueda y salvamento a cada banda. Los dispositivos de búsqueda deben ir situados a bordo de forma que puedan ser colocados de forma veloz en cualquier embarcación de supervivencia.
- Bengalas para señales de socorro: debe de disponerse al menos de 12 cohetes lanza bengalas estibados en el puente de navegación.
- Sistemas de comunicación de a bordo y sistema de alarma: el buque debe estar provisto de un sistema de emergencia y de alarma general que debe ser audible en todos los espacios del buque, incluidas cubiertas expuestas, con el fin de convocar a pasajeros y tripulantes a los puestos de reunión e iniciar las operaciones necesarias.
- Sistemas megafónicos que deben ser audibles en todos los espacios de modo que se garantice la emisión de todos los mensajes de emergencia. El sistema debe de tener al menos dos bucles suficientemente separados y dos amplificadores distintos e independientes, e irá conectado a la fuente de energía eléctrica de emergencia.
- Aros salvavidas distribuidos de forma que estén fácilmente disponibles a cada banda y en la medida de lo posible en todas las cubiertas expuestas. Deben de estar estibados de forma que puedan soltarse rápidamente. La mitad de los aros salvavidas irán provistos de luces de encendido automático, de los cuales dos también llevarán señales fumígenas, todos ellos distribuidos por igual a ambas bandas del buque. Al menos uno de los aros salvavidas de cada banda debe contar con rabiza flotante, con una longitud siempre superior a 30m o el doble de la altura a la cual vaya estibado por encima de la flotación. La siguiente tabla nos indica el número mínimo de aros salvavidas para buques de pasaje:

Eslora del buque en metros	Número mínimo de aros salvavidas
Menos de 60	8
de 60 a menos de 120	12
de 120 a menos de 180	18
de 180 a menos de 240	24
240 o mas	30

Figura 6: Número aros salvavidas. SOLAS.

Por tanto, se debe disponer de al menos 18 aros salvavidas. Sin embargo, como el buque proyecto tiene espacios abiertos a lo largo de toda su eslora, se dispondrán más de los mínimos establecidos para asegurar que están disponibles a lo largo de toda la banda. Como mínimo se dispondrán una pareja de aros salvavidas (uno por banda) en las siguientes zonas:

- Estación de amarre y fondeo de proa -2
- Estación de amarre de popa -2
- Cubierta 5: zona de popa (piscina) -2
- Cubierta 6 y 7: zona de popa, zona central y proa. -12
- Cubierta 8, 9 y 10: a popa y a proa. -12

Finalmente, suman 30 aros salvavidas.

- Chalecos salvavidas: deben disponerse chalecos salvavidas para todas las personas que vayan a bordo (+5% ubicados en puestos de reunión) e incluyendo un número de chalecos suficientes para las personas encargadas de la guardia, colocados de modo que sean fácilmente accesibles y deben de estar claramente indicados. No se

necesitan chalecos para bebés o niños dado que este buque de crucero está destinado a pasaje adulto. Es decir, el crucero cuenta con 360 pasajeros, más 90 tripulantes que es igual a 450 personas a bordo, a lo que sumamos un 5% y resulta 473 chalecos. E esta cantidad falta por sumar los chalecos destinados a tripulación de guardia por lo que se contabilizará una cantidad final de 500 chalecos salvavidas.

- Trajes de inmersión y trajes de protección contra la intemperie: debe disponerse al menos de un traje de inmersión de la talla adecuada por cada tripulante de los botes de rescate. Cada bote salvavidas también debe de llevar a bordo al menos tres trajes de inmersión y una ayuda térmica para cada persona que haya de ir en el bote salvavidas. Si los botes salvavidas son total o parcialmente cerrados no serán necesarios tales trajes y ayuda térmicas.
- Botes salvavidas. los buques de pasaje destinados a viajes internacionales que no sean viajes cortos deben llevar:
 - o Botes salvavidas cerrados total o parcial: 50% a cada banda (Se puede aceptar bajar hasta el 37,5% y sustituir el resto con balsas)
 - o Balsas salvavidas rígidas o inflables: 25% en total (con pescantes en cada banda)

Por lo tanto, siguiendo el buque de referencia se ha optado por disponer de cuatro botes salvavidas, dos a cada banda en la cubierta 5, como se puede apreciar en la disposición general. Los botes salvavidas tendrán capacidad para al menos el 75% de las personas a bordo, es decir para 338 personas o lo que es lo mismo 169 personas a cada banda. El modelo seleccionado será el bote salvavidas totalmente cubierto de la empresa Survitec con capacidad para 85 personas.

survitec						
PRODUCTO	DIMENSIONES	CAPACIDAD	DISTANCIA DE ENGANCHE	PESO APROXIMADO, SIN CARGA	M	VERSIÓN PARA CARGA SECA N° DE PRODUCTO CISTERNA DE PETROL/GAS N° DE PRODUCTO
Bote salvavidas de puesta a flote por pescante doble (TEMPSC)	16,4x7,2x9,9' (5,00x2,20x3,00m)	21 / 16	4.60m	2130-2400kg		SC50C SC50F
	19,1x8,9x10,2' (5,80x2,70x3,10m)	38 / 33	5.40m	2720-3000kg		SC58C SC58F
	19,4x7,6x10,2' (5,90x2,30x3,10m)	28 / 24	5.50m	2625-2900kg		SC60C SC60F
	24,6x9,4x10,5' (7,50x2,86x3,20m)	55 / 45	7.10m	3220-3500kg		SC75C SC75F
	26,3x9,1x10,2' (8,00x2,76x3,10m)	54 / 50	6.80m	3240-3500kg		SC80C SC80F
	27,9x10,9x10,9' (8,50x3,30x3,30m)	65 / 60	8,00m	4400-4700kg		SC85C SC85F
	27,9x10,1x10,9' (8,50x3,06x3,30m)	65 / 60	8,02m	4400-4740kg		SC86C SC85FA
	30,9x10,9x11,2' (9,40x3,30x3,40m)	74 / 66	8,54m	4290-4600kg		SC93C SC93F
Bote salvavidas de puesta a flote por caída libre	31,2x11,8x11,2' (9,50x3,60x3,40m)	101 / 85	9,00m	5620-6000kg		SC95C SC95F
	39,2x12,8x11,5' (11,95x3,90x3,50m)	126 / 115	11,30m	7400-8000kg		SC150C SC150F
	16,1x7,2x10,2' (4,90x2,18x3,10)	15	N/A	3000kg		SC49FC SC49FF
	19,4x7,3x10,2' (5,90x2,22x3,10)	18	N/A	3000-3350kg		SC59FCA SC59FFA
	19,4x8,4x10,2' (5,90x2,55x3,10)	25	N/A	3800kg		SC59FC SC59FF
	22,0x8,4x10,5' (6,70x2,55x3,20)	30	N/A	4000kg		SC67FC SC67FF
	24,6x8,4x10,5' (7,50x2,55x3,20)	33	N/A	5100kg		SC75FC SC75FF
	29,6x8,9x10,9' (9,00x2,70x3,30)	42	N/A	6200kg		SC90FC SC90FF
Bote salvavidas de puesta a flote por pescante simple	35,1x8,9x10,9' (10,70x2,70x3,30)	50	N/A	7000kg		SC107FC SC107FF
	38,4x11,8x12,5' (11,70x3,60x3,80)	60	N/A	10800kg		SC120FC SC120FF
	49,2x12,5x14,1' (15,00x3,80x4,30)	95	N/A	15000kg		SC150FC SC150FF
	Llamar	Llamar	Llamar	Llamar		Llamar Llamar

Figura 7: Botes salvavidas. Survitec.

Los botes salvavidas contarán con su propio sistema de botadura que normalmente son proporcionados por los propios fabricantes. Este sistema consta de un pescante doble que bota el bote una vez todos los pasajeros están a bordo. El resto de plazas se cubrirán con balsas salvavidas.

- Balsas salvavidas: como acabamos de ver las balsas salvavidas necesitan al menos tener capacidad para el 25% de las personas a bordo. Además, al tener menos del 50% en botes a cada banda hay que aumentar el número de balsas. Por tanto, se

necesitan balsas para 113 personas a cada banda. Se dispondrán las balsas de forma repartida a ambas bandas son sus propios medios capaces de hincharlas, botarlas y embarcar en ellas desde la cubierta en la que se encuentran.

VIKING Davit-launchable Liferaft

- High durability with an expected lifespan of 15-20 years
- Designed to be inflated on deck level and while connected to the davit lowered to water level
- Provides safe and effective means of dry-shod evacuation and is suitable for all types of vessels, regardless of deck height or hull shape
- Sizes: 12-39 persons
- Also available in a self-righting version



VARIANTS

L012DF00	12 person davit-launchable liferaft
L016DF00	16 person davit-launchable liferaft
L020DF00	20 person davit-launchable liferaft
L025DF00	25 person davit-launchable liferaft
L035DF00	35 person davit-launchable liferaft
L025DF50	25 person self-righting davit-launchable liferaft
L039DF50	39 person davit-launchable liferaft, self-righting

Figura 8: Balsas salvavidas. Viking.

Dispondremos de 8 balsas, 4 a cada costado en la cubierta 6 a popa de los botes salvavidas. Las seleccionadas serán el modelo L035DF00 de VIKING LIFE- SAVING EQUIPMEN con capacidad para 35 personas con lo que se cumplen los criterios mínimos establecidos. Además, se ubicarán a mayores dos balsas más a cada costado en la cubierta 10.

- Botes de rescate: como buque de más de 500 GT, se requiere un bote de rescate en cada banda que dispondremos en la cubierta 6. VIKING LIFE- SAVING EQUIPMEN también ofrece los siguientes modelos. Del que seleccionaremos el MIDGET-530 MIKII diesel propeller:

Model	Engine	Dimensions (m) L x W x H	Capacity (max. persons @ 82.5 kg)	Weight kg (incl. max. persons)
MATRIX-450 MKI	Outboard engine	4.50 x 1.96 x 1.96	6	1000
MIDGET-530 MKII diesel propeller	Inboard diesel	5.32 x 2.07 x 1.82	8	1650
MIDGET-530 MKII waterjet	Inboard diesel	5.32 x 2.07 x 1.82	8	1650
MIDGET-500 MKII saddle	Outboard engine	5.10 x 2.07 x 1.90	6	1200
MIDGET-500 MKII saddle fixed hook	Outboard engine	5.10 x 2.07 x 1.90	6	1200
MIDGET-500 MKII thwart	Outboard engine	5.10 x 2.07 x 1.90	6	1100
MERLIN-615 R MKI outboard	Outboard engine	6.25 x 2.45 x 2.50	15	2388

Figura 9: Botes de rescate. Viking.

. Como ya se ha visto en el Cuaderno 7, las rutas de evacuación en un buque de pasaje cobran gran importancia y constituyen uno de los principales condicionantes de la disposición general del buque. Las vías o rutas de evacuación se dispusieron de forma que permite que toda la tripulación y pasaje puedan alcanzar la cubierta de botes situada en la cubierta 5 para garantizar una evacuación segura del buque en caso de emergencia.

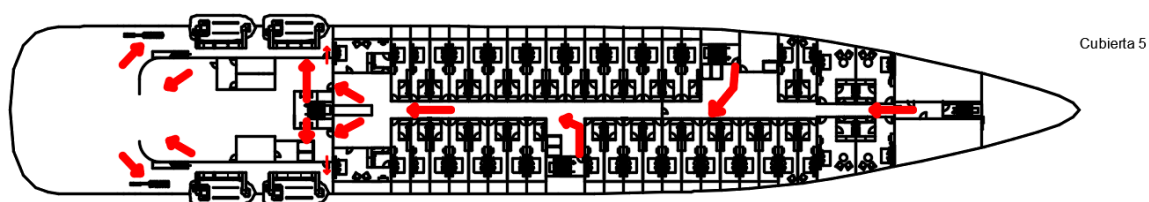


Figura 10: Vías de evacuación cubierta de botes.

5 SERVICIO DE ACHIQUE Y SENTINAS

Todos los compartimentos estancos que no sean empleados como tanques de combustible, agua dulce, lastre, etc. deberán estar conectados a un sistema de achique dotado de las bombas adecuadas para descargar al mar los fluidos que puedan llegar a contener. Las filtraciones se hacen descender por gravedad a la parte inferior de buque a espacios destinados a este fin denominados pocetes, donde se achican por medio de bombas o eyectores y finalmente, se separan de las sustancias oleosas en un separador de sentinas, antes de descargarlas al mar.

El cálculo de los sistemas de achique se realiza siguiendo las indicaciones del SOLAS.

5.1 Colector principal de sentinas

Recoge todos los achiques procedentes de las sentinas aspirándolos mediante las bombas de achique que se calcularán empleando los reglamentos del DNV Pt.4 Ch6. S4. y los apuntes de la asignatura de “Sistemas Auxiliares del Buque II”.

El diámetro interno del colector principal no debe ser menor al valor dado por la siguiente fórmula:

$$d = 1.68 * \sqrt{L(B + D)} + 25$$

Siendo L la eslora entre perpendiculares, B la manga de trazado y D el puntal de trazado hasta la cubierta de compartimentado.

$$d = 1.68 * \sqrt{145 * (24 + 8.8)} + 25 = 141 \text{ mm}$$

Por tanto, para seleccionar el tubo del colector adecuado buscamos en una tabla de tubos comerciales de acero las medidas existentes y escogemos el diámetro interno directamente mayor al que hemos calculado, que en este caso se corresponde con 150mm. En los anexos podremos encontrar todos los catálogos consultados para la realización de este cuaderno.

5.2 Bombas de sentinas

En primer lugar, necesitamos saber el número de bombas del que dispondremos. Al tratarse de un buque de pasaje, tendremos 3 o 4 bombas en función del coeficiente de bomba de sentinas (4 bombas si Coef. bomba > 30) que calcularemos a continuación. Las bombas irán conectadas al colector principal de achique que acabamos de calcular y estarán situadas en compartimentos distintos a lo largo de la eslora del buque de forma que una filtración de agua no afecte a todas ellas a la vez y el buque pueda ser capaz de afrontar cualquier situación de averías.

El coeficiente de bombas de sentinas se calcula de la siguiente manera:

- Si $P1 > P$:

$$Coef. bomba = 72 * \frac{M + 2 * P1}{V + P1 - P}$$

- Si $P1 < P$:

$$Coef. bomba = 72 * \frac{M + 2 * P}{V}$$

Siendo,

L la eslora del buque

M el volumen de la cámara de máquinas por debajo de la cubierta de cierre

P la totalidad del volumen de los espacios de pasajeros y tripulación situados por debajo de la cubierta de cierre

V volumen total de la parte del buque que quede por debajo de la cubierta de cierre

$P1 = k \cdot N$ donde N es el número de pasajeros y $k = 0.056 \cdot L$

En esta fase del diseño los valores de M, P y V aún no están totalmente definidos por lo que se tratará de hacer una estimación lo más precisa posible en función de los parámetros calculados hasta el momento en los cuadernos previos:

$$M = 24 \cdot 7.40 \cdot 28 = 4972.8 \text{ m}^3$$

(Considerando una longitud de la C.M. de 24m, como indicamos en el cuaderno 0, una altura de 7.4 metros que se corresponde con la distancia entre el doble fondo y la cubierta principal y que la C.M. abarca toda la manga del buque)

$P = 4125.6 \text{ m}^3$ (midiendo el área del espacio de camarotes y sala de estar de la tripulación en la cubierta 2 y multiplicando por la altura que es de 2.7m)

$$P1 = k \cdot N = 0.056 \cdot 145 \cdot 360 = 2923.2 \text{ m}^3$$

$$V = 21130.6 \text{ m}^3 \text{ (estimación en función de } L, B, Cb \text{ y } D)$$

Por tanto, $P > P1$ y el coeficiente de bombas de sentina es:

$$\text{Coef. bomba} = 72 \cdot \frac{4972.8 + 2 \cdot 2923.2}{21130.6 + 2923.2 - 4125.6} = 39.1 > 30$$

Finalmente, podemos observar que el valor obtenido es mayor que 30, y, por tanto, podemos asegurar que el número de bombas necesario para llevar a cabo el achique de sentinas va a ser 4.

A continuación, nos falta por hallar el caudal de las bombas. Teniendo en cuenta que la velocidad mínima reglamentaria para hacer circular el agua por el colector es de 2m/s, el caudal necesario se puede calcular a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = 2 \cdot 3600 \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 3600 \cdot \pi \cdot \left(\frac{150}{2}\right)^2 \cdot 10^{-6} = 127.24 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cada bomba debe ser capaz de transportar este caudal, por tanto, instalaremos cuatro bombas centrífugas con sistema de autocebado incorporado accionada por motor eléctrico, con un caudal de $130 \text{ m}^3/\text{h}$ y para este sistema una presión de 2 bares suele ser suficiente.

La potencia absorbida por las bombas de achique utilizadas se puede calcular siguiendo la siguiente expresión:

$$Pot = \frac{Q \cdot H \cdot \rho \cdot 9.81}{3600 \cdot 10^3 \cdot \eta} = \frac{130 \cdot 20 \cdot 1025 \cdot 9.81}{3600 \cdot 10^3 \cdot 0.63} = 11.52 \text{ kW/bomba}$$

Donde Q es el caudal necesario para cada bomba, H la altura que debe de vencer desde el fondo a la cubierta principal y η se escogió en función de la siguiente tabla:

η	Q (m³/h)
0.60	50
0.62	100
0.65	200
0.70	400
0.75	800
0.80	1.000
0.82	3.000

Figura 11: Rendimiento bombas centrífugas

Ahora nos falta por conocer la potencia del motor eléctrico:

$$P_{electrico} = P * \frac{100 + \mu}{100} = 11.52 * \frac{100 + 15}{100} = 13.26 \text{ kW/bomba}$$

Siendo μ el margen de seguridad del motor eléctrico.

5.3 Separador de sentinas

Para poder verter el agua procedente del achique de las sentinas al mar es necesario que el agua sea tratada previamente para separar el agua de las sustancias oleosas, que serán almacenadas en el tanque de lodos. La reglamentación exige que el agua procedente de las sentinas no contenga más de 15ppm (partes por millón) de hidrocarburos para poder ser vertida al mar. Por tanto, es preciso disponer de un separador de sentinas donde se pueda tratar el agua con el fin de poder garantizar el cumplimiento de la reglamentación existente (MARPOL e IMO Resolution MEPC 107 (49)). El separador de sentinas, convenientemente homologado, estará dotado de un sistema de alarma encargado de avisar en caso de avería o fallo y de un sistema de detención automático si se detecta que el agua vertida supera la proporción de 15ppm de hidrocarburos.

Para llevar a cabo esta función se buscará un separador capaz de procesar 5000 litros por hora, cantidad que se estima suficiente para un buque como el del proyecto. El sistema seleccionado para desempeñar esta misión es el separador de sentinas OWS-5000 del fabricante Wärtsilä. En el Anexo se encuentra el catálogo.

TECHNICAL SPECIFICATION				
Model	OWS 500	OWS 1000	OWS 2500	OWS 5000
Max. capacity	0.5 m³/h	1.0 m³/h	2.5 m³/h	5.0 m³/h
Max. capacity	2.2 gpm	4.4 gpm	11.0 gpm	22.0 gpm
Max. oil in effluent	5 ppm / 15 ppm*	5 ppm / 15 ppm*	5 ppm / 15 ppm*	5 ppm / 15 ppm*
Length	1185 mm	2344 mm	3210 mm	2440 mm
Width	765 mm	1100 mm	1400 mm	1100 mm
Height	1715 mm	1855 mm	1855 mm	2364 mm
Dry weight	510 kg	650 kg	950 kg	1000 kg
Wet weight	800 kg	1950 kg	2700 kg	2200 kg
Power consumption	3 kW	3 kW	3 kW	6 kW

* Depending on specification

Figura 12: Separador de sentinas. Wärtsilä.

6 SERVICIO DE LASTRE

Necesitaremos suficiente volumen de agua de lastre para garantizar qué en cualquier condición de carga, las hélices se encuentran por debajo de la línea de flotación, así como las condiciones de estabilidad y flotabilidad. Al tratarse de un buque de pasaje, el peso muerto representa una fracción pequeña del desplazamiento por lo que el calado no variará notoriamente, como sí ocurre en cargueros o petroleros. El agua de lastre también se emplea para poder variar el trimado del buque.

El volumen de agua de lastre se estimó previamente en el Cuaderno 4 con el fin de conocer la capacidad de los tanques de lastre:

$$V_{lastre} = 2373 m^3$$

En el sistema de lastre distinguiremos diferentes elementos: la red de llenado y achique de agua y las tuberías de aireación. Las bombas de achique tendrán la toma en la parte inferior y a popa del tanque y los aireadores estarán situados a proa y en la zona superior de cada tanque, lo más alejado posible de la toma de agua.

El tiempo de lastrado y deslastrado determina el caudal de las bombas de lastre. En este caso consideraremos un tiempo de lastrado/deslastrado de 15h como se recomienda en los apuntes de la asignatura de Sistemas Auxiliares (tiempo de lastrado comprendido entre 10 y 15 horas). Finalmente, para calcular el caudal de la bomba de lastre, se emplea la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{T * N}$$

Donde, V es el volumen total del agua de lastre en m^3 , T el tiempo de deslastrado en horas y N el número de bombas que trabajan simultáneamente. Siguiendo lo indicado en el reglamento, utilizaremos un número de bombas igual a dos:

$$Q = \frac{2373}{15 * 2} = 79.1 \frac{m^3}{h}$$

Puesto que el caudal de achique que se calculo es superior al caudal de lastre calculado, emplearemos una de las bombas de achique para llevar a cabo el lastrado/deslastrado del buque. Esto está permitido por la Sociedad de Clasificación, de forma que solo es necesario la instalación de una bomba más de achique a bordo, que será de tipo centrífuga con sistema de autocebado incorporado accionada por motor eléctrico con un caudal de $80 m^3/h$ y una presión de 2 bar (lo cual resulta suficiente para este tipo de sistemas).

La potencia absorbida por la bomba utilizada se puede calcular siguiendo la siguiente expresión:

$$Pot = \frac{Q * H * \rho * 9.81}{3600 * 10^3 * \eta} = \frac{80 * 20 * 1025 * 9.81}{3600 * 10^3 * 0.62} = 7.2 kW/bomba$$

7 SERVICIO DE CONTRAINCENDIOS

Para determinar el servicio de detección y extinción de incendios es necesario seguir las indicaciones prescritas en el capítulo II-2 del SOLAS, regla número 10. Los elementos de lucha Contraincendios que se pueden encontrar a bordo son los siguientes:

- Bombas Contraincendios, colectores, hidrantes y mangueras
- Extintores portátiles
- Sistemas fijos Contraincendios

Además, en el buque será necesario un sistema de detección y alarma definido en la regla número 7 que permita identificar cuando se está produciendo un incendio y dar la señal de alarma a todas las personas a bordo con el fin de permitir una evacuación sin riesgos y que se inicien inmediatamente las actividades de lucha contra incendios. La señal de alarma tiene que poder activarse tanto automáticamente como por medios manuales que estarán distribuidos por todo el buque, de forma que habrá un avisador de accionamiento manual en todos los espacios de alojamiento, de servicio y puestos de control y en cada salida. En los pasillos de cada cubierta habrá un avisador de accionamiento manual de manera que ninguna parte del pasillo diste más de 20m de uno de los avisadores. Los detectores de humos se instalarán en los espacios de máquinas, así como en puestos de control y espacios de alojamiento incluidos los pasillos, las escaleras y las vías de evacuación del interior de los espacios de alojamiento. No es necesario instalar detectores de humo en los baños privados ni en las cocinas, así como en espacios donde el riesgo de incendio es muy bajo o nulo.

A continuación, se procederá a determinar los elementos de lucha contra incendios mencionados anteriormente.

7.1 Sistemas de suministro de agua

Todo buque debe disponer de bombas, colector, hidrantes y mangueras contra incendios.

El colector debe ir situado de forma que se evita el congelamiento en las tuberías, es decir no debe ir ubicados en el exterior o por zonas refrigeradas como gambuzas y en caso de no poder evitarlo debe estar propiamente protegidos. El diámetro del colector y las tuberías contra incendios debe ser suficiente para que se produzca la distribución eficaz del caudal máximo de agua prescrito para dos bombas de CI funcionando al máximo y de forma simultánea.

El número y la distribución de los hidrantes serán tales que por lo menos dos chorros de agua no procedentes del mismo hidrante, uno de ellos con una longitud simple de manguera, puedan alcanzar cualquier parte del buque normalmente accesible a los pasajeros o a la tripulación mientras el buque navega, y cualquier punto de cualquier espacio de carga cuando éste se encuentre vacío, ambos con una longitud simple de manguera. Además, estos hidrantes estarán emplazados cerca de los accesos a los espacios.

Por tratarse de un buque de pasaje, además esto debe cumplirse cuando todas las puertas estancas entre los mamparos de la MVZ están cerradas y cuando la ruta de escape del espacio de máquinas de categoría A sea a través de otro espacio a bajo nivel, dos hidrantes en la entrada al espacio de máquinas de categoría A. Cada hidrante debe contener al menos una manguera con una longitud mínima de 10 metros y máxima de 15 metros en espacios de máquinas y de 20 en cubiertas expuestas y otras zonas. Las mangueras estarán provistas de una lanza y de los acoplamientos necesarios y estarán permanentemente acopladas a los hidrantes. La presión de los hidrantes, al tratarse de un buque de pasaje con más de 4000 GT será de $0.40N / mm^2$.

Además, debe estar provisto al menos de una conexión a tierra que se dispondrá de forma que se pueda emplear dicha conexión a ambos lados del buque.

Las bombas sanitarias, de lastre, de sentinas y las de servicios generales pueden ser consideradas como bombas contraincendios siempre que no se utilicen normalmente para bombear combustible. Una de las bombas de uso general que tenga capacidad suficiente debe poder suministrar agua al colector principal. Los buques de pasaje de 4000 toneladas o más de arqueo bruto deben ir provistos de al menos tres bombas contraincendios de accionamiento independiente. Estas bombas deben ir ubicadas de forma que al producirse un incendio en cualquiera de los compartimentos no queden inutilizadas todas las bombas. La bomba contra incendios de emergencia se encontrará en un espacio no contiguo a cualquier espacio de máquinas de categoría A ni al espacio en el que se encuentren las bombas principales. Tampoco se permite el acceso directo entre el espacio de máquinas y el espacio donde se encuentren la bomba de emergencia y su fuente de energía.

El SOLAS establece que el caudal contra incendios no será inferior a 2/3 del caudal de achique de sentinas. Cada bomba contra incendios principal tendrá una capacidad no inferior al 80% del caudal total exigido dividido por el número de bombas, aunque estando garantizado que una sola bomba pueda suministrar agua a los dos chorros prescritos. Teniendo en cuenta el caudal de achique calculado en este mismo cuaderno, se tiene que si se instalan 3 bombas contra incendios iguales, sus caudales deberán ser, como mínimo:

$$Q_T \geq \frac{2}{3} * Q_S * N_S = \frac{2}{3} * 127.24 * 4 = 339.3 \frac{m^3}{h}$$
$$Q_{\text{mínimo indv.}} \geq 0.8 * \frac{Q_T}{N} = 339.3 * \frac{0.8}{3} = 90.48 \frac{m^3}{h}$$

La bomba de emergencia debe tener una capacidad superior a:

$$Q_{\text{emergencia}} = 0.4 * Q_T = 135.72 \frac{m^3}{h}$$

Se considerará la misma presión que para el agua sanitaria

7.2 Extintores Portátiles

Los espacios de alojamiento y de servicio y los puestos de control estarán provistos de extintores portátiles de un tipo apropiado y en un número suficiente. Los extintores de incendio estarán listos para su utilización y situados en un lugar visible que pueda alcanzarse rápida y fácilmente en todo momento en caso de incendio, y de modo que su utilidad no se vea afectada por las condiciones meteorológicas, las vibraciones o factores externos. Los extintores portátiles dispondrán de dispositivos que indiquen si se han utilizado.

- En la zona de habilitación no se deben usar extintores de CO₂ por lo que se dispondrán extintores de polvo ABC. En espacios públicos debe haber al menos 1 extintor por cada 250m² de área. Sobre el plano se estima que en cada cubierta necesitará 4 extintores portátiles en cada MVZ. Además, en zonas donde el riesgo de incendio es mayor se dispondrán extintores extras como por ejemplo en las cocinas. Los extintores estarán ubicados en zonas donde son ampliamente visibles y no obstaculizan el paso. Además, uno de los extintores portátiles destinados a ser utilizados en un espacio determinado estará situado cerca de la entrada a dicho espacio. Por ejemplo, en los recibidores de los ascensores o el tronco principal de escaleras.
- Sis necesarios para la seguridad del buque, se proveerán extintores cuyo agente extintor no sea conductor de la electricidad ni pueda dañar el equipo y los dispositivos. Se dispondrán extintores de CO₂, que son los más adecuados para extinguir fuegos sin causar mayores daños en los sistemas.
- En la cámara de máquinas se llevarán, además de extintores de polvo, extintores de espuma de 45l, en cantidad suficiente para poder alcanzar cualquier punto de los

motores y sus auxiliares sin que sea necesario caminar más de 10 m para alcanzar uno de ellos. Se opta por dotar a cada cámara de máquinas de 2 extintores de espuma.

- A bordo se llevarán cargas de respeto suficientes para recargar completamente 10 extintores y hasta el 50% el resto, hasta un máximo de 60.

7.3 Instalaciones fijas

Además de las bocas contraincendios y los extintores portátiles el buque debe estar provisto de instalaciones fijas que ayuden en la lucha contra incendios. Con estas instalaciones se busca un mayor grado de automatización que con los otros equipos empleados.

Existen tres tipos de sistemas fijos de extinción de incendios:

1. Sistema fijo por gas
2. Sistema fijo a base de espuma de alta expansión
3. Sistema fijo por aspersión de agua a presión.

El espacio de maquinaria debe ir provisto de un sistema fijo de protección contra incendios, así como el resto de espacios de acomodación y servicios. El sistema instalado será un sistema fijo por aspersión de agua a presión dado que es el que se instalará también para el resto del buque y también resulta útil para esta finalidad. De esta manera se evita la instalación de dos sistemas fijos de lucha contraincendios diferentes.

En los buques de pasaje todos los puestos de control, espacios de servicio y espacios de alojamiento deben estar equipados con un sistema automático de rociadores. En aquellos puestos de control en los que el agua pueda dañar los quipos se optará por la instalación de otro tipo de sistema.

En aquellos espacios donde el riesgo de incendio es muy pequeño o no existe riesgo ninguna no es necesario que se instale un sistema automático de rociadores como por ejemplo servicios públicos.

Además, el SOLAS también establece la necesidad de que los pañoles de pinturas estén protegidos por Sistema de CO₂, con un volumen mínimo del 40% del volumen del espacio, un sistema de polvo seco de 0,5 kg polvo/m³ o un sistema de rociadores de 5 l/m² * min. Por tanto, se dispondrán rociadores. Las freidoras deben ir provistas de un sistema automático o manual aceptado (clase F ó K, de base potasio), CO₂ en el conducto.

Finalmente, podemos concluir que la instalación fija de protección contra incendios estará formada por una red de tuberías que distribuyen agua a presión hacia todos los rociadores del buque, los cuales se abren automáticamente cuando se activa la señal de alarma tras la detección del fuego, este equipo también se llama de agua nebulizada y sus principales ventajas son una rápida activación, una mejor penetración, una gran eficacia de protección contra una gran variedad de incendios, un consumo menor de agua, la minimización de los daños causados por el agua y la ausencia de problemas de toxicidad.

Para dimensionar los equipos nos basaremos en el FSS-Code (Fire Safety Systems Code) capítulo 8: Rociadores Automáticos, detección de incendios y sistema de alarma de incendios que establecen los criterios a tener en cuenta.

Los tipos de rociadores automáticos deben ser del tipo de tubería húmeda, lo que significa que la tubería permanece llena de agua hasta que la temperatura ambiente excede un límite determinado, el bulbo de activación en el nebulizador cerrado explota y el agua nebulizada se descarga por esa boquilla en particular.

En buques de pasaje no debe haber menos de 2 fuentes de alimentación para las bombas de agua del mar y el sistema de detección y de alarma, éstas serán un generador principal y una fuente de energía de emergencia. Un suministro para la bomba se tomará del cuadro de

distribución principal, y uno del cuadro de distribución de emergencia mediante alimentadores separados reservados exclusivamente para ese fin. Los alimentadores deben estar dispuestos de manera que eviten espacios cerrados de alto riesgo de incendio, y deben pasar a un interruptor de cambio automático situado cerca de la bomba de rociadores. Este interruptor funcionará de forma que en caso de fallo del suministro desde el cuadro principal cambiará automáticamente al cuadro de distribución de emergencia.

Los rociadores deben de estar fabricados en un material resistente a la corrosión y deben de entrar en operación en un rango de temperaturas de 68 a 79 °C. La presión del agua en la red se debe gracias a un tanque de presión cuyo volumen debe ser al menos el doble de la carga permanente de agua dulce, cuyo valor equivale a la cantidad de agua que se descargaría por el sistema contraincendios durante 1 minuto. Por tanto, la presión en el tanque nunca debe ser inferior a la presión de servicio del rociador más la presión ejercida por una columna de agua medida desde el fondo del tanque al rociador a mayor altura (31 mca).

La bomba se activará automáticamente por la caída de presión en el sistema antes de que la carga de agua dulce en el tanque de presión se agote. La bomba y el sistema de tuberías deberán ser capaces de mantener la presión necesaria al nivel del rociador más alto para garantizar una salida continua de agua suficiente para la cobertura simultánea de un área mínima de 280 m².

Los rociadores se agruparán en secciones separadas, cada una de las cuales deberá contener no más de 200 rociadores. Cualquier sección de rociadores no debe servir a más de dos cubiertas y no debe estar situada en más de una zona vertical principal. Cada sección de rociadores debe poder aislarse solo con una válvula de cierre. Los rociadores deben colocarse en una posición superior y espaciados en un patrón adecuado para mantener una tasa de aplicación promedio de no menos de 5 l / m² *min sobre el área nominal cubierta por los rociadores.

Cada sección de rociadores debe incluir medios para dar una señal de alarma visual y audible automáticamente en una o más unidades indicadoras cada vez que un rociador entre en funcionamiento. Dichos sistemas de alarma también detectarán si ocurre algún fallo en el sistema. Dichas unidades indicarán en qué sección atendida por el sistema se ha producido un incendio y se centralizarán en el puente de navegación.

Tras tener en cuenta todo esto, se procede al cálculo del sistema de agua a presión:

$$Q = \frac{60}{100} * R * A$$

Donde,

Q es el caudal de la bomba de agua

R la capacidad específica que como acabamos de ver no puede ser inferior a 5 l / m² *min

A es el área del mayor compartimento a cubrir

$$A_{MVZ\ central-cubierta\ 4} = 1062\ m^2$$

$$Q = \frac{60}{100} * 5 * 1062 = 318.6\ m^3/h$$

Como establece el SOLAS, la cámara de máquinas debe ir provisto de los siguientes elementos:

- Un sistema fijo CI que será de tipo de agua a presión
- Un aplicador portátil de espuma
- Extintores de 45 l de espuma a menos de 10 m como ya hemos visto
- 2 nebulizadores de agua

- Un sistema fijo de lucha contraincendios de aplicación local a base de agua

Por tanto, además de los sistemas que ya hemos visto la cámara de máquinas debe estar provista con un sistema local fijo de agua. Este sistema es el encargado de proteger zonas tales como las que se indica a continuación sin que sea necesario parar las máquinas, evacuar al personal o cerrar herméticamente el espacio:

1. Las partes con riesgo de incendio de los motores
2. La parte delantera de las calderas
3. Las partes con riesgo de incendio de los incineradores
4. Los purificadores de combustible o aceite

8 SERVICIO SANITARIO

El agua dulce se emplea a bordo como agua potable para la habilitación (camarotes, cocinas, lavandería, aseos, piscinas...), tanto fría como caliente, así como agua técnica para sistemas o equipos del buque (refrigeración, agua nebulizada, aire acondicionado...).

El servicio de agua dulce se diseña en función de lo establecido en la norma UNE-EN ISO 15748-2:2002 y está formado por los siguientes elementos:

- Toma de mar
- Generador de agua dulce
- Red de circulación, incluyendo todas las líneas y accesorios como válvulas, reductoras de presión, manómetros, sensores, etc.
- Tanque almacén de agua dulce
- Bombas
- Tanque hidróforo
- Esterilizador de agua dulce para obtener agua potable
- Calentador de agua

Más adelante también estudiaremos los sistemas de tratamiento de aguas residuales, que son las obtenidas tras el consumo del agua dulce.

8.1 Tanques de agua dulce

Los tanques de agua dulce, en caso de ser estructurales, deben de estar contruidos de acero anticorrosión o estar tratados con un recubrimiento anticorrosivo en el acero, siendo preferible que se trate de espacios lo más diáfanos posible sin un gran número de refuerzos intermedios. También hay que tener en cuenta que los tanques de agua dulce no pueden ser contiguos a tanques destinados a otros usos, teniendo que existir espacios vacíos entre ambos (cofferdams) para evitar la contaminación del agua dulce por posibles filtraciones. Los tanques deben de disponer de los tubos de aireación necesarios que irán ubicados a una altura mínima de 450 mm sobre cubierta de superestructura (sobre la cubierta 5) y debe impedir la entrada de agua de mar o de otra suciedad al tanque.

La capacidad de los tanques de agua dulce se ha estimado previamente en el cuaderno 4 siguiendo la regla UNE-EN ISO 15748 que proporciona una estimación del agua dulce consumida por persona a bordo en un día:

Tabla 2: Consumo agua dulce

- Consumo Tripulación: 150l/persona*día.
- Consumo Pasaje: 200-300l/persona*día

Punto de servicio	Agua fría (l/día)	Agua caliente (l/día)	Cantidad total (l/día)
Lavabos	8	12	20
Duchas y bañeras	55	80	135
Retretes y urinarios	8		8
Cocina	10	15	25
Lavandería	30	60	90
Limpieza	8	12	20
Total/persona	119	179	298

Esto nos permite conocer la cantidad de agua dulce consumida por el pasaje y como ya hemos visto la de la tripulación la estimaremos en 150l/persona*día.

Finalmente,

$$Va. dulce = 298 * 360 + 150 * 90 = 120780 \frac{l}{día} = 120.78 \frac{m^3}{día}$$

Y considerando la situación más desfavorable que se corresponde con la avería de la planta de generación de agua dulce y la necesidad del buque de navegar empleando únicamente el agua dulce almacenada. Suponiendo que el buque necesita almacenar una capacidad de agua dulce suficiente para poder navegar 5 días sin hacer escala en puerto, la capacidad del tanque de agua dulce se estima en 604 metros cúbicos. Es recomendable disponer de al menos dos tanques de agua dulce pero como se ha visto en el compartimentado se han dispuesto 4 tanques simétricos de 162 metros cúbicos cada uno, dos a estribor y dos a babor.

8.2 Generador de agua dulce

El generador de agua dulce es el equipo encargado de desalinizar el agua de mar que entra al buque a través de las tomas de mar. El agua producida por la planta se bombea a los tanques de agua dulce, la cual será posteriormente bombeada al tanque hidróforo. El agua dulce se puede obtener a través de un proceso de evaporación o de osmosis inversa.

Como se indica en el cuaderno 4, el consumo de agua dulce al día es de 121 m³/día. Esto nos permite dimensionar la planta de generación de agua dulce. Instalaremos, por tanto, dos generadores de agua dulce del modelo MT -75 del fabricante Enwa capaz de producir 75m³/día de agua dulce. Como podemos comprobar, la capacidad total es superior a la estimada, debido a que, a mayores del agua dulce consumida por el pasaje y la tripulación, hay que añadir el agua técnica consumida por la operatividad del buque. Optamos por esta solución, en lugar de por un único equipo de la misma capacidad para tener, menos posibilidades de una avería simultánea de los dos equipos y así poder reducir la capacidad de los tanques de agua dulce.

Los equipos desalinizadores consumen un total de 30 kW cada uno, a lo que hay que sumar 3 kW por cada bomba necesaria, es decir un total de 66 kW.

8.3 Bombas

Para el cálculo de las bombas es necesario conocer el caudal total y el caudal en punta (total, fría y caliente) así como las pérdidas de carga. Dispondremos de dos bombas de suministro que son las encargadas de proporcionar presión al tanque hidróforo y de bombas de circulación, una para agua caliente y otra para agua fría, cuyo fin es mantener la circulación de agua en los circuitos y a través del esterilizador y el calentador.

Para calcular el caudal total nos basaremos en la tabla A.12 de la norma mencionada previamente en el anexo A.

Tabla A.12
Valores guía para las presiones de flujo mínimo y caudal de cálculo de agua potable en los puntos de servicio estándar

Presión de flujo mínimo $P_{min}[1]$ bar	Tipo de punto de servicio de agua potable	Caudal de cálculo para el consumo de		
		Agua mezclada ^a		Agua potable fría o caliente solamente
		\dot{V}_R fría l/s	\dot{V}_R caliente l/s	\dot{V}_R l/s
0,5	Válvulas de salida			
0,5	sin globo ^b DN 15	—	—	0,30
0,5	..... DN 20	—	—	0,50
0,5	..... DN 25	—	—	1,00
1,0	con globo DN 10	—	—	0,15
1,0	..... DN 15	—	—	0,15
1,0	Boquillas de ducha para limpieza DN 15	0,10	0,10	0,20
1,2	Válvula para baldeo del retrete DN 15	—	—	0,70
1,2	Válvula para baldeo del retrete DN 20	—	—	1,00
0,4	Válvula para baldeo del retrete DN 25	—	—	1,00
1,0	Válvula para urinarios DN 15	—	—	0,30
1,0	Lavavajillas doméstico DN 15	—	—	0,15
1,0	Lavadora doméstica DN 15	—	—	0,25
—	Máquinas y aparatos de la zona de abastecimiento (datos de acuerdo con el fabricante) DN...	—	—	—
1,0	Llaves mezcladoras			
1,0	Platos de ducha DN 15	0,15	0,15	—
1,0	Bañeras DN 15	0,15	0,15	—
1,0	Fregaderos de cocina DN 15	0,07	0,07	—
1,0	Lavabos de pedestal DN 15	0,07	0,07	—
1,0	Bidets DN 15	0,07	0,07	—
1,0	Lavapiés DN 15	0,07	0,07	—
1,0	Llaves mezcladoras DN 20	0,30	0,30	—
0,5	Tanques para el baldeo de retretes DN 15	—	—	0,13
1,5	Aseo de vacío DN 15	—	—	0,30
1,0	Caldera eléctrica de agua DN 15	—	—	0,10
NOTA – Para los puntos de suministro y aparatos no incluidos en esta lista y que sean del mismo tipo de los que figuran pero con mayores flujos o presiones de flujo mínimo que los que se dan aquí, se deben tener en cuenta los datos suministrados por el fabricante al determinar el diámetro requerido de tuberías.				
^a Los caudales de cálculo para la salida de agua mezclada están basados en 15° C para el agua potable fría y en 60 °C para la caliente.				
^b Para las válvulas de salida sin globo y con mangueras y dispositivos conectados, se ha incluido en la presión de flujo mínimo un valor estándar de la pérdida de presión en la línea de mangueras (hasta 10 m) y en los aparatos conectados (por ejemplo un limpiador de alta presión). En este caso, se incrementa la presión de flujo mínimo entre 1 bar y 1,5 bar.				

Figura 13: Valores guía cálculo de sistema de agua sanitaria. UNE-EN ISO 15748.

Con estos valores hacemos una tabla que nos indica el caudal total por local o instalación del buque con toma de agua que nos permitirá calcular el caudal total.

Tabla 3: Caudal total por instalación

Equipamiento	Punto de servicio	Cantidad	Presión de flujo mínimo (bar)	Caudal total (l/s)	Caudal fría (l/s)	Caudal caliente (l/s)
Aseo camarote tripulación	Llave mezcladora lavabo	1	1	0,14	0,07	0,07
	Llave mezcladora ducha	1	1	0,3	0,15	0,15
	Retrete de vacío	1	1,5	0,3	0,3	
	Total			0,74	0,52	0,22

Aseo camarote pequeño	Llave mezcladora lavabo	2	1	0,28	0,14	0,14
	Llave mezcladora bañera	1	1	0,3	0,15	0,15
	Retrete de vacío	1	1,5	0,3	0,3	
	Total		0,88	0,59	0,29	
Aseo camarote mediano	Llave mezcladora lavabo	2	1	0,28	0,14	0,14
	Llave mezcladora bañera	1	1	0,3	0,15	0,15
	Llave mezcladora ducha	1	1	0,3	0,15	0,15
	Retrete de vacío	1	1,5	0,3	0,3	
	Total		1,18	0,74	0,44	
Aseo camarote Suite	Llave mezcladora lavabo	2	1	0,28	0,14	0,14
	Llave mezcladora bañera	1	1	0,3	0,15	0,15
	Llave mezcladora ducha	1	1	0,3	0,15	0,15
	Llave mezcladora Jacuzzi	1	1	0,3	0,15	0,15
	Retrete de vacío	1	1,5	0,3	0,3	
	Total		1,48	0,89	0,59	
Aseo público x1	Llave mezcladora lavabo	1	1	0,14	0,07	0,07
	Retrete de vacío	1	1,5	0,3	0,3	
	Total		0,44	0,37	0,07	
Vestuario	Llave mezcladora lavabo	3	1	0,42	0,21	0,21
	Llave mezcladora ducha	3	1	0,9	0,45	0,45
	Retrete de vacío	3	1,5	0,9	0,9	
	Total		2,22	1,56	0,66	
Spa	Llave mezcladora bañera	4	1	1,2	0,6	0,6
	Total		1,2	0,6	0,6	
Piscinas	Llave mezcladora ducha	2	1	0,6	0,3	0,3
	Total		0,6	0,3	0,3	
Lavandería	Lavadora	6	1	1,5	1,5	
	Total		1,5	1,5	0	
Cocina	Fregadero	15	1	4,2	2,1	2,1
	Lavavajillas	6	1	0,9	0,9	
	Fuente de agua	2	1	0,14	0,14	
	Pela patatas	1	1	0,13	0,13	
	Cafetera	2	1	0,3	0,3	
	Total		5,67	3,57	2,1	
Hospital	Llave mezcladora lavabo	2	1	0,28	0,14	0,14
	Llave mezcladora ducha	2	1	0,6	0,3	0,3
	Retrete de vacío	2	1,5	0,6	0,6	
	Total		1,48	1,04	0,44	
Cocina Cub. 6	Fregadero	4	1	4,2	2,1	2,1
	Lavavajillas	2	1	0,3	0,3	
	Fuente de agua	0	1	0	0	
	Pela patatas	1	1	0,13	0,13	
	Cafetera	0	1	0	0	
	Total		4,63	2,53	2,1	

De la tabla anterior obtenemos el caudal total de cada una de las instalaciones del buque que tienen tomas de agua. La instalación de agua sanitaria estará compuesta por los equipos necesarios para su generación y distribución que se encontrarán ubicados en el local de la cubierta uno destinada a tales fines. A continuación, se muestra el consumo total de agua, de agua fría y de agua caliente por cubierta, así como el caudal total para el total del buque:

Tabla 4: Caudal total

Cubierta	Equipamiento	Cantidad	Caudal total (l/s)	Caudal fría (l/s)	Caudal caliente (l/s)
2	Camarotes tripulación	40	29,6	20,8	8,8
	Lavandería	1	1,5	1,5	0
	Total		31,1	22,3	8,8
3	Cocina	1	5,67	3,57	2,1
	Camarote pequeño	22	19,36	12,98	6,38
	Hospital	1	1,48	1,04	0,44
	Aseos públicos	4	1,76	1,48	0,28
	Camarote tripulación	8	5,92	4,16	1,76
	Total		34,19	23,23	10,96
4	Camarote pequeño	34	29,92	20,06	9,86
	Camarote mediano	4	4,72	2,96	1,76
	Aseos públicos	4	1,76	1,48	0,28
	Total		36,4	24,5	11,9
5	Camarote pequeño	38	33,44	22,42	11,02
	Camarote mediano	4	4,72	2,96	1,76
	Aseos públicos	6	2,64	2,22	0,42
	Piscina	1	0,6	0,3	0,3
	Total		41,4	27,9	13,5
6	Aseos públicos	2	0,88	0,74	0,14
	Cocina Cub.6	1	4,63	2,53	2,1
	Camarote mediano	23	27,14	17,02	10,12
	Total		32,65	20,29	12,36
7	Piscina	1	0,6	0,3	0,3
	Aseos públicos	6	2,64	2,22	0,42
	Camarote mediano	19	22,42	14,06	8,36
	Suites	2	2,96	1,78	1,18
	Total		28,62	18,36	10,26
8	Aseos públicos	2	0,88	0,74	0,14
	Camarote Mediano	17	20,06	12,58	7,48
	Suites	4	5,92	3,56	2,36
	Total		26,86	16,88	9,98
9	Piscina	1	0,6	0,3	0,3
	Aseos públicos	8	3,52	2,96	0,56
	Camarotes medianos	15	17,7	11,1	6,6
	Total		21,82	14,36	7,46

10	Spa	1	1,2	0,6	0,6
	Vestuario	2	4,44	3,12	1,32
	Total		5,64	3,72	1,92
	Total	258,68	171,54	87,14	

Por tanto, el caudal total de agua sanitaria a bordo es de:

$$Q_{agua\ total} = 258.68\ l/s$$

$$Q_{agua\ fría} = 171.54\ l/s$$

$$Q_{agua\ caliente} = 87.14\ l/s$$

Ahora con la ayuda de la gráfica que se muestra a continuación hallamos el valor del caudal punta:

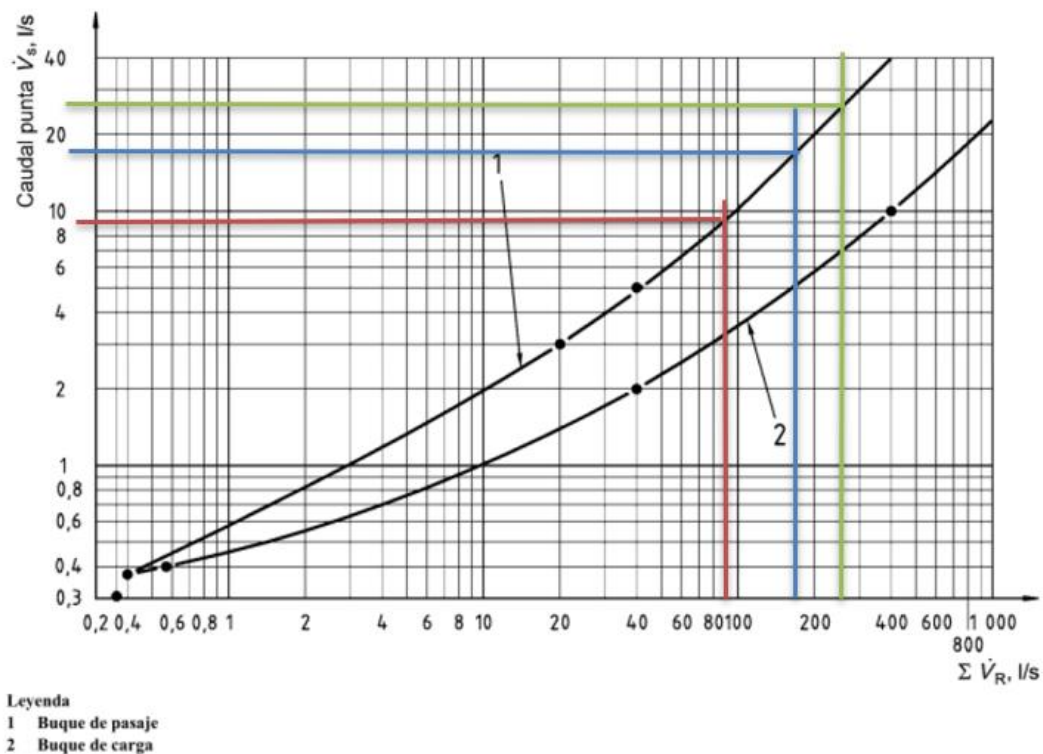


Figura 14: Caudal punta en función de la suma de caudales

Caudal punta Total: 26 l/s

Caudal punta Agua Fría: 17 l/s

Caudal punta Agua Caliente: 9 l/s

El siguiente paso es calcular las pérdidas de carga en la tubería. Para ello sacaremos la velocidad máxima del flujo, el tramo de tubería, el diámetro de la tubería en función del caudal punta, las diferencias de presión y las pérdidas de carga. La presión de suministro se calcula para el consumidor más desfavorable. Por tanto, calcularemos la caída de presión para el consumidor más alejado de cada cubierta y así saber cuál es la mayor de todas ellas.

Consideraremos la velocidad máxima permitida según las especifica la norma:

-2.5 m/s en la sala de máquinas y tronco de máquinas.

-2.0 m/s en los espacios públicos.

-1.4 m/s en la cubierta de alojamientos.

-1.0 m/s en el hospital y sus cercanías.

-1.0 m/s en las líneas de aspiración de la bomba.

-0.5 m/s en las líneas de circulación.

Y el diámetro de tubería y las pérdidas de carga según la siguiente tabla:

Caudal punta \dot{V}_S l/s	Velocidad del flujo v m/s							
	1		1,4		2		2,5	
	Anchura nominal	Presión diferencial	Anchura nominal	Presión diferencial	Anchura nominal	Presión diferencial	Anchura nominal	Presión diferencial
	DN	R mbar/m	DN	R mbar/m	DN	R mbar/m	DN	R mbar/m
0,2	15	20,0	12	50	10	125	10	220
0,3	20	14,0	15	36	12	95	12	170
0,45	25	11,0	20	27	15	70	15	130
0,7	32	8,0	25	20	20	52	20	95
1,0	40	6,0	32	15	25	40	25	75
1,5	40/50	4,8	40	11,5	32	30	32	55
2,25	50	3,5	50	8,6	40	23	32	42
3,5	65	2,6	65	6,5	50	16,5	40	30
5,25	80	1,9	65	4,7	65	12	50	23
8,0	100	1,5	80	3,7	65	9,5	65	17

NOTA – Las presiones diferenciales mencionadas incluyen las pérdidas debidas a los codos, ramales, válvulas, etc. La presiones diferenciales debidas al rozamiento en las tuberías son muy pequeñas para una temperatura del orden de hasta 60 °C; por lo tanto se considera despreciable este diferencial de presión.

Figura 15: Caudales, anchuras nominales y presiones diferenciales para tuberías de cobre y acero inoxidable

Para conocer la caída de presión más desfavorable se elabora la siguiente tabla:

Tabla 5: Cálculo pérdidas de carga tuberías

Sistema de suministro de agua fría									
Nomenclatura	Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/s)	Caudal punta (l/s)	Velocidad máxima	DN tubería	Diferencia de presión (mbar/m)	Pérdidas de carga (mbar)	
TRONCO CUB 1 - CUB 2	1	4,7	171,54	17	1,4	2x8	7,4	34,78	
TRONCO CUB 2 - CUB 3	2	2,7	149,24	15	1,4	2x8	7,4	19,98	
TRONCO CUB 3 - CUB 4	3	3	126,01	12	1,4	8/5,25	8,4	25,2	
TRONCO CUB 4 - CUB 5	4	3	101,51	10	1,4	8/2,25	12,3	36,9	
TRONCO CUB 5 - CUB 6	5	3	73,61	7,5	1,4	80	3,7	11,1	
TRONCO CUB 6 - CUB 7	6	3	53,32	6	1,4	80	3,7	11,1	
TRONCO CUB 7 - CUB 8	7	3	34,96	4,5	1,4	65	4,7	14,1	Pérdidas de carga Tronco+Ramal (mbar)
TRONCO CUB 8 - CUB 9	8	3	18,08	2,8	1,4	65	6,5	19,5	
TRONCO CUB 9 - CUB 10	9	3	3,72	1,2	1,4	40	11,5	34,5	
RAMAL CUB 2	10	48,5	22,3	3,2	1,4	65	6,5	315,25	350,03
RAMAL CUB 3	11	105,5	23,23	3,3	1	65	2,6	274,3	329,06
RAMAL CUB 4	12	103	24,5	3,5	1,4	65	2,6	267,8	347,76
RAMAL CUB 5	13	120	27,9	3,7	1,4	65	6,5	780	896,86
RAMAL CUB 6	14	104,5	20,29	3	1,4	65	6,5	679,25	807,21
RAMAL CUB 7	15	116,5	18,36	2,8	1,4	65	6,5	757,25	896,31
RAMAL CUB 8	16	108	16,88	2,8	1,4	65	6,5	702	855,16
RAMAL CUB 9	17	76	14,36	2,4	1,4	65	6,5	494	666,66
RAMAL CUB 10	18	40	3,72	1,2	1,4	40	11,5	460	667,16
									896,86

Sistema de suministro de agua caliente									
Nomenclatura	Tramo	Longitud (m)	Caudal (l/s)	Caudal punta (l/s)	Velocidad máxima	DN tubería	Diferencia de presión (mbar/m)	Pérdidas de carga (mbar)	
TRONCO CUB 1 - CUB 2	1	4,7	87,14	9	1,4	80	3,7	17,39	
TRONCO CUB 2 - CUB 3	2	2,7	78,34	8,5	1,4	80	3,7	9,99	
TRONCO CUB 3 - CUB 4	3	3	67,38	7,5	1,4	80	3,7	11,1	
TRONCO CUB 4 - CUB 5	4	3	55,48	6	1,4	80	3,7	11,1	
TRONCO CUB 5 - CUB 6	5	3	41,98	5	1,4			0	
TRONCO CUB 6 - CUB 7	6	3	29,62	4	1,4	65	4,7	14,1	
TRONCO CUB 7 - CUB 8	7	3	19,36	3	1,4	65	3,5	10,5	
TRONCO CUB 8 - CUB 9	8	3	9,38	2	1,4	50	8,6	25,8	Pérdidas de carga Tronco+Ramal (mbar)
TRONCO CUB 9 - CUB 10	9	3	1,92	0,8	1,4	32	15	45	
RAMAL CUB 2	10	48,5	8,8	1,9	1,4	50	8,6	417,1	434,49
RAMAL CUB 3	11	105,5	10,96	2,1	1	50	3,5	369,25	396,63
RAMAL CUB 4	12	103	11,9	2,2	1,4	50	8,6	885,8	924,28
RAMAL CUB 5	13	120	13,5	2,4	1,4	65	6,5	780	829,58
RAMAL CUB 6	14	104,5	12,36	2,5	1,4	65	6,5	679,25	728,83
RAMAL CUB 7	15	116,5	10,26	2,1	1,4	50	8,6	1001,9	1065,58
RAMAL CUB 8	16	108	9,98	1,9	1,4	50	8,6	928,8	1002,98
RAMAL CUB 9	17	76	7,46	1,8	1,4	50	8,6	653,6	753,58
RAMAL CUB 10	18	40	1,92	0,8	1,4	35	20	800	944,98
									1065,58

De la tabla se observa que la mayor caída de presión ocurre en la cubierta número 7, para el agua caliente y en la 5 para el agua fría. Las longitudes se han obtenido de la disposición general, teniendo en cuenta la mitad del anillo de cada cubierta.

Para calcular la presión de suministro también es necesario conocer la presión geométrica que se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$P_{geométricas} = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} * 1000 \frac{kg}{m^3} * h}{100} m$$

Siendo h la distancia vertical hasta el consumidor más desfavorable (en la cubierta 5 para el agua fría y en la cubierta 7 para el agua caliente). Es decir, 13,4 y 19,4 respectivamente.

La caída de presión debido a los equipos los calcularemos como:

$$P_{equipos} = P_{carga} * 1.5$$

Y tendremos en cuenta un margen del 10%.

Finalmente, obtenemos:

Tabla 6: Pérdidas de carga total

Agua fría		Agua caliente	
Pérdidas de carga	896,86	Pérdidas de carga	1065,58
Pérdidas geométricas	1314,54	Pérdidas geométricas	1903,14
Equipos	1345,29	Equipos	1598,37
Presión mínima	1500	Presión mínima	1500
Margen 10%	355,669	Margen 10%	456,709
Total (mbar)	5412,359	Total (mbar)	6523,799

Como se puede apreciar las pérdidas geométricas suponen las pérdidas más altas y por ello el consumidor más desfavorable, será el consumidor más alejado en la cubierta 10:

Agua fría		Agua caliente	
Pérdidas de carga	667,16	Pérdidas de carga	944,98
Pérdidas geométricas	2786,04	Pérdidas geométricas	2786,04
Equipos	1000,74	Equipos	1417,47
Presión mínima	1500	Presión mínima	1500
Margen 10%	445,394	Margen 10%	514,849
Total (mbar)	6399,33	Total (mbar)	7163,339

Por tanto, tras todos estos cálculos se puede concluir que las dos bombas de suministro necesitarán cada una un caudal de $26 \text{ l/s} \cdot 1.1 = 28.6 \text{ l/s}$ y una presión de $7.1 = 9.1$ bares.

A continuación, dimensionaremos las bombas de circulación. Para ello, consideraremos el volumen total de tuberías y 3 renovaciones por hora. El volumen de tuberías se calculará empleando la siguiente tabla, considerando el uso de tuberías de acero inoxidable:

Anchura nominal	Volumen de agua en l/m en				
	Tuberías de acero sin alear de acuerdo con la Norma				Tuberías de acero inoxidable de acuerdo con la Norma ISO 1127
	ISO 65		ISO 4200		
	DN	Series medias	Series pesadas	Sin soldadura		Soldadas
6	0,030	0,019	—	—	—
8	0,061	0,047	—	—	—
10	0,123	0,102	0,145	0,145	0,154
12	—	—	—	—	—
15	0,201	0,172	0,235	0,235	0,257
20	0,366	0,327	0,391	0,412	0,441
25	0,581	0,515	0,638	0,693	0,731
32	1,012	0,924	1,087	1,122	1,207
40	1,372	1,269	1,459	1,500	1,598
50	2,206	2,067	2,333	2,437	2,561
65	3,718	3,536	3,882	3,948	4,015
80	5,128	4,927	5,346	5,434	5,581
100	8,709	8,413	9,009	9,144	9,348

Figura 16: Volume de agua en las tuberías de acero

Obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 7: Volumen de tuberías total

Agua fría					
Nomenclatura	Tramo	Longitud (m)	DN	V (l/m)	V (l)
TRONCO	CUB 1 - CUB 2	1	4,7	2x80	11,162
TRONCO	CUB 2 - CUB 3	2	2,7	2x80	11,162
TRONCO	CUB 3 - CUB 4	3	3	80/65	9,596
TRONCO	CUB 4 - CUB 5	4	3	80/50	8,142
TRONCO	CUB 5 - CUB 6	5	3	80	5,581
TRONCO	CUB 6 - CUB 7	6	3	80	5,581
TRONCO	CUB 7 - CUB 8	7	3	65	4,015
TRONCO	CUB 8 - CUB 9	8	3	65	4,015
TRONCO	CUB 9 - CUB 10	9	3	40	1,598
RAMAL	CUB 2	10	48,5	65	4,015
RAMAL	CUB 3	11	105,5	65	4,015
RAMAL	CUB 4	12	103	65	4,015
RAMAL	CUB 5	13	120	65	4,015
RAMAL	CUB 6	14	104,5	65	4,015
RAMAL	CUB 7	15	116,5	65	4,015
RAMAL	CUB 8	16	108	65	4,015
RAMAL	CUB 9	17	76	65	4,015
RAMAL	CUB 10	18	40	40	1,598
TOTAL					3401,8328
x3 RENOVACIONES					10205,4984 l/h

Agua caliente					
Nomenclatura	Tramo	Longitud (m)	DN	V (l/m)	V (l)
TRONCO	CUB 1 - CUB 2	1	4,7	80	5,581
TRONCO	CUB 2 - CUB 3	2	2,7	80	5,581
TRONCO	CUB 3 - CUB 4	3	3	80	5,581
TRONCO	CUB 4 - CUB 5	4	3	80	5,581
TRONCO	CUB 5 - CUB 6	5	3		0
TRONCO	CUB 6 - CUB 7	6	3	65	4,015
TRONCO	CUB 7 - CUB 8	7	3	65	4,015
TRONCO	CUB 8 - CUB 9	8	3	50	2,561
TRONCO	CUB 9 - CUB 10	9	3	32	1,207
RAMAL	CUB 2	10	48,5	50	2,561
RAMAL	CUB 3	11	105,5	50	2,561
RAMAL	CUB 4	12	103	50	2,561
RAMAL	CUB 5	13	120	65	4,015
RAMAL	CUB 6	14	104,5	65	4,015
RAMAL	CUB 7	15	116,5	50	2,561
RAMAL	CUB 8	16	108	50	2,561
RAMAL	CUB 9	17	76	50	2,561
RAMAL	CUB 10	18	40	32	1,207
TOTAL					2487,5844
x3 RENOVACIONES					7462,7532 l/h

Ahora que ya conocemos el caudal de agua para la bomba de circulación de agua fría y la de agua caliente, nos falta conocer la presión que necesitarán las bombas. Esto se realizará de la misma forma que se ha empleado previamente para el cálculo de la presión en las bombas de suministro con la diferencia de que no existe presión geométrica por que la circulación ocurre dentro del ramal que se encuentra a la misma altura y que el margen aplicado será de un 40% en vez de un 10%.

Tabla 8: Bombas de suministro

Agua fría		Agua caliente	
Pérdidas de carga	897	Pérdidas de carga	1066
Equipos	1345,29	Equipos	1598,37
Margen 40%	896,86	Margen 40%	1065,58
Total (mbar)	3139,01	Total (mbar)	3729,53

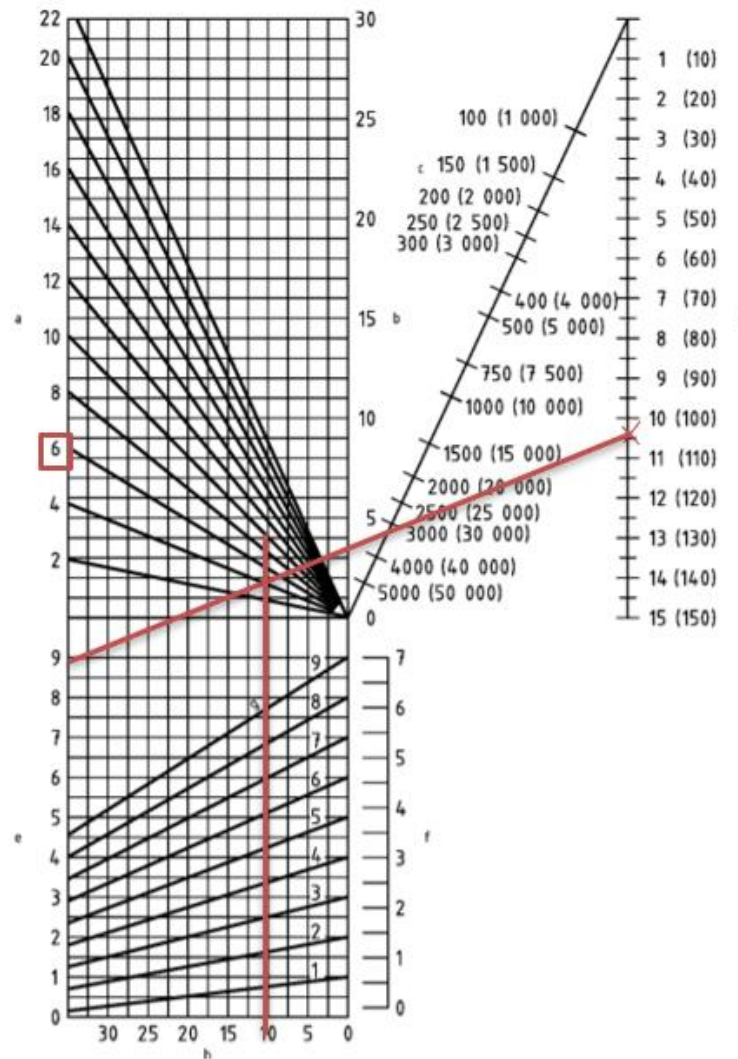
8.4 Tanque hidróforo

Para dimensionar el tanque hidróforo es necesario calcular su volumen. Para ello tendremos en cuenta los siguientes criterios que establece la norma UNE:

- Para mantener la mayor cantidad de agua disponible y prevenir que la bomba tenga que estar funcionando de forma frecuente interrumpidamente, es suficiente con

comprimir previamente con aire el agua almacenada en los tanques a presión. La precompresión debe ser 0,3 bar por debajo de la presión de corte de la bomba

- La diferencia de presión entre la presión de corte y la de la puesta en marcha debe estar entre 1 bar y 2 bar.
- La frecuencia de puestas en marcha está normalmente entre 6 y 8 funcionamientos
- La capacidad necesaria del depósito se debe determinar de acuerdo con la siguiente imagen:



^a Frecuencia de accionamientos por h S

^b $\frac{\text{Caudal a la salida de la bomba}}{\text{Volumen del depósito}} \times \frac{\dot{V}_p}{V_D} \times \frac{\text{m}^3}{\text{h} - \text{m}^3}$

^c Volumen del depósito V_D l

^d Caudal a la salida de la bomba $\dot{V}_p = \dot{V}_{p\min}$ en m^3/h

^e Presión de corte p_E de la bomba en bar

^f Presión previa p_V en bar; para el aire comprimido en el depósito de agua

^g Presión de corte p_A en bar

^h Volumen utilizable del depósito de agua V_{eff} en %

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_S}{V_D} \times 100$$

Fig. A.4 – Diagrama funcional para determinar el tamaño de los depósitos de agua

Figura 17: Tanque hidróforo.

Para el dimensionamiento, se ha tenido en cuenta:

$$Q_{\text{suministro}} = 102.96 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$P_{\text{apertura-bomba}} = 8.5 \text{ bar}$$

$$P_{\text{corte-bomba}} = 9.5 \text{ bar (+1 bar)}$$

6 accionamientos por hora

Por tanto, empleando el diagrama se obtiene un tanque a presión de 25000l con un 11% utilizable. Sin embargo, cuando el caudal de suministro tiene un valor superior a 30-40 m³/h como ocurre en este caso, no se requiere un tanque hidróforo y el suministro se realiza de forma directa.

8.5 Calentador de agua

Instalaremos un calentador de tipo flujo continuo. La temperatura alcanzada en el calentador ha de ser al menos de 60° para prevenir la formación de depósitos y la reproducción de la legionela. El calentador tendrá una entrada de alimentación de agua fría, otra de agua caliente de recirculación, una salida a la línea de suministro de agua caliente y un desagüe. El funcionamiento será eléctrico y estará regulado por un termostato. El calentador se encuentra aguas abajo del tanque hidróforo por lo que se encuentra a la presión de servicio.

La norma UNE-EN ISO 15748 nos proporciona una tabla para dimensionar el calentador de agua en función del número de personas a bordo. La tabla se muestra a continuación:

Tabla A.6
Valores guía de los volúmenes de los calentadores de agua, potencia de calentamiento y calentadores adicionales

Número de personas	Volumen del calentador de agua l	Potencia de calentamiento kW	Tiempo de calentamiento desde 10 °C hasta 65 °C min	Cantidad en l de agua mezclada de 40 °C a producir en		Potencia de calentamiento adicional kW
				1 h	2 h	
1 a 10	200	15	51	660	1 030	8
	300	10	115	680	930	5
11 a 20	400	30	51	1 320	2 060	15
	650	20	125	1 440	1 940	10
21 a 30	650	40	62	1 940	2 920	20
	1 000	20	192	1 960	2 450	10
31 a 50	1 000	40	96	2 450	3 440	20
	1 500	25	230	2 820	3 440	13
51 a 75	1 000	80	48	3 440	5 400	40
	1 500	60	96	3 680	5 160	30
	2 000	40	192	3 930	4 910	20
76 a 100	2 000	80	96	4 910	6 880	40
	3 000	40	288	5 400	6 380	20
101 a 150	3 000	100	115	6 880	9 330	50
	5 000	40	480	8 350	9 330	20
151 a 200	3 000	160	72	8 350	12 280	60
	5 000	100	192	9 820	12 280	50
201 a 300	5 000	200	96	12 280	17 200	60
	7 000	150	179	14 000	17 690	50
301 a 500	7 000	300	90	17 690	25 060	70
	10 000	200	192	19 650	24 570	60
501 a 700	7 000	400	67	20 140	29 970	80
	10 000	300	128	22 110	29 480	70
701 a 1 000	10 000	550	70	28 250	41 770	100

NOTA 1 - Por regla general, no se utilizan calentadores individuales de agua de más de 3 000 l de capacidad. Para demandas superiores de agua se deben instalar dos o más calentadores de agua de un tamaño apropiado, o calentadores de flujo continuo.
NOTA 2 - Para cada número de personas se indican dos posibilidades de volumen de agua.
NOTA 3 - La columna "Potencia de calentamiento adicional" tiene en cuenta el suministro de agua potable que hay que asegurar en puerto (véase el apartado 11.1).

Figura 18: Calentador de agua

El crucero dispone de capacidad para 360 pasajeros más 90 persona de la tripulación. Por tanto, el número total de persona a bordo es de 450 y nuestro calentador de agua debe tener capacidad para un volumen de agua para 7000 o 10000 litros, una potencia de calentamiento de 300 o 200 kW y un tiempo de 90 o 192 minutos respectivamente para subir la temperatura del agua de 10 a 65°C.

La norma recomienda no utilizar un único calentador si el volumen es superior a 3000 litros. Por tanto, instalaremos 5 calentadores de 2000 litros cada uno, con una potencia calorífica de 40kW cada uno.

8.6 Planta de tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales, también denominadas aguas de desecho son las aguas que han sufrido cambios debido a su uso. Las aguas de desecho se clasifican en dos tipos:

- Aguas grises: aguas de desecho que deben ser evacuadas, sin incluir las aguas negras. Aquellas procedentes de lavavajillas, lavabos, duchas, fregaderos, piscinas...
- Aguas negras: aguas de desecho que transportan sólidos en suspensión procedentes de retretes, urinarios y bidets, zonas médicas, zonas donde habitan animales...

El sistema de tratamiento y desagüe de las aguas residuales a bordo siguen la norma UNE-EN ISO 15749, que está acorde con Convenio Marpol Anexo IV.

El Anexo IV de Marpol hace referencia la descarga de aguas negras:

- Hasta 3 millas de tierra se permite la descarga de aguas residuales siempre y cuando estas hayan sido tratadas previamente en una planta TAR y no contengan ni sólidos ni decoloración
- Desde 3 millas hasta 12, se permite desmenuzada y desinfectada. LA velocidad del buque ha de ser superior a 4 nudos y la descarga tiene que ser progresiva.
- A más de 12 millas se permite la descarga en cualquier condición.

Sin embargo, debido al aumento de contaminación, actualmente ya existen zonas en las que estas normas se han vuelto más restrictivas (Mar Báltico), además y debido a la creciente consciencia sobre el impacto ambiental cada vez se busca que los buques sean más respetuosos con el medio marino.

Por todos estos motivos, el buque necesita disponer de una planta de tratamiento de aguas residuales. La red de aguas residuales consta de un líneas de achique que transportan las aguas de desecho desde los desagües a los colectores, y posteriormente a la planta de tratamiento. Una vez que el agua haya sido tratada puede ser vertida al mar o almacenada en los tanque de retención en función de las exigencias medioambientales. Existe una red para las aguas grises y otra red de aguas negras que estarán separas continuamente. Para dimensionar el servicio de aguas residuales y debido a las dimensiones del sistema por tratarse de un buque de pasaje, se instalará un sistema de vacío, en el que los propios desagües incorporan mecanismos de achique por vacío.

La planta se debe diseñar y construir de manera que origine el mínimo ruido posible y que no se produzca una transmisión de ruidos a través de esta. Además, no debe causar ninguna molestia debido a los olores, de forma que el sistema de ventilación será de gran importancia.

La norma UNE mencionada, nos proporciona unos valores para estimar el volumen diario de aguas residuales a partir del cual podremos calcular la planta de tratamiento.

- Aguas negras: 25 l/persona*día
- Aguas grises: 185 l/persona*día

Por tanto, el volumen total mínimo de aguas residuales es de 11250 l de aguas negras y 83250 l de aguas grises que equivalen a un total de $11.25m^3$ y $83.25 m^3$ respectivamente, es decir $95.5 m^3$ en total. Este volumen será el que nuestra planta de tratamiento tiene que ser capaz de procesar en un día.

Sin embargo, se calculó un consumo de agua sanitaria de $121 m^3$ por lo que se decide finalmente instalar una planta de tratamiento de aguas residuales de mayor tamaño capaz de procesar un volumen de aguas residuales igual al volumen de agua sanitaria consumida. La planta de tratamiento elegida será el modelo Evac MBR 120K del fabricante Evac, que procesa hasta 120000 L al día con un consumo de 11 kW.

Además, la norma nos proporciona las siguientes fórmulas para calcular la capacidad de aire que necesitará el sistema de vacío:

Para aguas negras:

$$P1 = w * b1 * f1 * f2$$

Donde,

b1 es el consumo de aire de una activación del mecanismo de vacío para aguas negras = 60L

f1 es el número de retretes utilizados por hora = 6 veces/hora

f2 es el factor de pérdidas =1.25

P1 capacidad de aire para las aguas negras en litros/hora

W número de retretes con mecanismos integrados de vacío y de urinarios con un mecanismo de vacío conectado.

$$P1 = 282 * 60 * 6 * 1.25 = 126900 \frac{l}{h} = 126.9 \frac{m^3}{h}$$

Para aguas grises:

$$P2 = \frac{k * m * b2}{a * n} + \frac{k * m}{a}$$

Donde

a es el número de periodos pico =2

b2 es el consumo de aire para una activación del mecanismo de vacío para aguas grises =50l

k es el número de personas

m es el consumo de agua por persona en 24h =60l

n cantidad de agua utilizada en una activación de un mecanismo en vacío 15l

P2 es la capacidad de aire para aguas grises en l/h

$$P2 = \frac{450 * 60 * 50}{2 * 15} + \frac{450 * 60}{2} = 58500 \frac{l}{h} = 58.5 \frac{m^3}{h}$$

9 TRATAMIENTO DE BASURAS

En un buque de pasaje el volumen de basuras generadas a bordo es bastante significativo. Estos residuos estarán formados principalmente por restos de comida y envases resultantes de la actividad humana llevada a cabo a bordo. Para el tratamiento de estos residuos el buque dispondrá de una trituradora, una compactadora e incineradora cuya función es reducir el volumen ocupado por los residuos y eliminar aquellos que puedan ser quemados.

Se instalarán dos compactadora y trituradora del fabricante EVAC del modelo EVAC USC 2020 con una capacidad de 200 litros cada una y con un consumo de 6.6 kW. (se incluye catálogo del fabricante al final del cuaderno).



Figura 19: Compactadora trituradora. EVAC.

La incineradora seleccionada será el modelo IRLA-30 del fabricante Detegasa con una capacidad de quemado de 50 kg de basura por hora y con un consumo eléctrico de 14.7 kW de la cual se instalarán también dos equipos para evitar la pérdida del sistema de tratamiento de residuos por la avería de uno de los equipos.

10 SISTEMAS DE VENTILACIÓN DE LA CÁMARA DE MÁQUINA

El sistema de ventilación de la cámara de máquinas consistirá en ventiladores cuyo caudal y presión se determinarán en función del calor a evacuar o el volumen del local y las renovaciones necesarias de aire. Recordemos que el buque dispone de dos cámara de máquinas y cada una cuenta con dos generadores del tipo MAN 6L 32/44CR. La ventilación de la cámara de máquinas tiene una gran importancia debido a que cumple dos propósitos, en primer lugar, proporciona a los generadores el aire de combustión y en segundo lugar se encargan de eliminar el calor generado por los grupos generadores y los auxiliares para que la temperatura se mantenga en un valor seguro para la tripulación que está trabajando en ese local.

La presión necesaria de dichos ventiladores se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$P_T = P_E + P_D$$

Donde, P_E es la presión estática y P_D la presión dinámica para una velocidad de 20 a 25m/s.

La presión estática tiene un valor de 0.85 a 1 mm.c.a/m de conducto. Suponiendo una longitud de conducto de 32 metros el valor total de $P_E = 32 \text{ mm. c. a.}$ Para calcular la presión dinámica disponemos de la siguiente fórmula:

$$P_D = \frac{V^2 * \rho}{2 * g} = \frac{25^2 * 1.13}{2 * 9.81} = 36 \text{ mm. c. a.}$$

Por tanto,

$$P_T = 36 + 32 = 68 \text{ mm. c. a} = 0.0068 \text{ bares}$$

En general, suele requerirse 1 ventilador de tipo axial por local.

El caudal de los ventiladores se podrá determinar mediante dos métodos diferentes. El primer método es mediante el calor a eliminar y disponemos de la siguiente fórmula:

$$q = \frac{\phi}{\rho \cdot c \cdot \Delta t}$$

Donde,

q es el caudal de aire para la evacuación de calor del local en m³/s

ϕ el calor a evacuar en kW cuyo valor obtenemos de la guía de los generadores seleccionados:

Engine output	%	100	85	75	50
	kW/cyl.	583	495	437	291
Speed	rpm	720/750			
Heat to be dissipated ⁽¹⁾					
Charge air:	kJ/kWh				
Charge air cooler (HT stage) ⁽²⁾		860	751	725	465
Charge air cooler (LT stage) ⁽²⁾		381	350	350	314
Lube oil cooler ⁽³⁾		353	384	426	521
Jacket cooling		390	401	425	526
Nozzle cooling		14	14	14	14
Heat radiation (engine, based on engine room temperature 35 °C)		147	151	158	204

Figura 20: Radiación de calor de los motores. MAN.

Como en cada cámara de máquinas disponemos de dos grupos generadores:

$$\phi = \frac{2 * 147 * 583 * 6}{3600} = 285 \text{ kW}$$

ρ es la densidad del aire a 35°C, 70%RH y 101.3 Kpa con un valor de 1.13 kg/m³

c es el calor específico del aire a 35°C, 70%RH y 101.3 Kpa con un valor de 1.101 kJ/kg°C

Δt es el incremento de temperatura media del local (12.5°C)

Finalmente, el valor del caudal de aire necesario es:

$$q = \frac{285}{1.13 \cdot 1.01 \cdot 12.5} = 19.98 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 71928 \text{ m}^3/\text{h}$$

El segundo método para calcular el caudal de aire necesario es mediante el número de renovaciones necesarias:

$$q = R * V \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

Donde V es el volumen del local y R el número de renovaciones por hora que tomaremos entre 10 y 15 al tratarse de un local con equipos instalados.

$$R = 15$$

$$V = \frac{4972.8}{2} = 24486.4 \text{ m}^3$$

Siendo 4972.8 el volumen total entre las dos cámaras de máquinas.

$$q = 15 * 24486.4 = 372996 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Por tanto, el volumen total de aire necesario será de:

$$q = 19.98 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 71928 \text{ m}^3/\text{h}$$

Lo cual cumple con el requisito de calor a eliminar y las renovaciones de aire necesarias por hora.

Para el resto de locales de la cubierta 1 (situada sobre el doble fondo) destinados a tratamiento de aguas residuales, agua sanitaria ...se ventilarán de nuevo con una tasa de 15 renovaciones por horas al disponer de equipos instalados. El resto de zonas del buque no precisarán de un sistema de ventilación porque dispondrán de climatización.

- Local Agua Sanitaria

El local de agua sanitaria cubre una superficie de 207 m² y tiene una altura de 4,7 metros por lo que el volumen total del local es de 972.9m³. Para una tasa de renovación de 15 renovaciones por hora al disponer de equipos como la planta de generación de agua dulce:

$$q = 15 * 972.3 = 14593.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Local estabilizadores

Se sigue el mismo procedimiento. Cada uno de los dos locales de estabilizadores necesita un caudal:

$$q = 15 * 39 * 4.7 = 2749.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Local planta tratamiento de residuos

- $q = 15 * 204 * 4.7 = 14382 \frac{m^3}{h}$
 - Local equipos auxiliares
- $q = 15 * 748.24 = 11223.6 \frac{m^3}{h}$
 - Local equipos contraincendios
- $q = 15 * 170 * 4.7 = 11985 \frac{m^3}{h}$
 - Local taller
- $q = 15 * 170 * 4.7 = 11985 \frac{m^3}{h}$
 - Local propulsor de proa
- $q = 15 * 62.1 * 4.7 = 4378.05 \frac{m^3}{h}$
 - Local propulsores azimutales
- $q = 15 * 310 * 3.7 = 17205 \frac{m^3}{h}$
 - Local equipos eléctricos
- $q = 15 * 320 * 2.7 = 13365 \frac{m^3}{h}$

Todos los caudales han sido calculados en función de las renovaciones de aire necesarias, en caso de conocer el calor aportado por los equipos debería calcularse el volumen de aire necesario a extraer para eliminar el calor residual aportado por los equipos.

11 EQUIPOS DE ELEVACIÓN Y MANTENIMIENTO

En este apartado describiremos los medios de elevación y mantenimiento del buque proyecto.

- Grúa cámara de máquinas

Se instalará una grúa de tipo grúa-rail en la cámaras de máquinas sobre los generadores principales con el fin de realizar las tareas de mantenimiento. La capacidad de dicha grúa será la necesaria para poder elevar el elemento más pesado que pueda llevar un generador.

Components	Unit	Approximate weights
Cylinder head complete	kg	530
Piston with piston pin and connecting rod (for piston removal)		235
Cylinder liner		188
Charge air cooler		480

Table 122: Component weights

Figura 21: Peso de componentes del motor. MAN.

Como observamos en la tabla de la Project guide del generador el componente más pesado tiene un peso de 530kg. Por tanto, la grúa rail debe tener al menos capacidad para poder elevar $530 \times 1.1 = 583$ dejando un margen del 10%.

- Ascensores pasaje

Los ascensores están reservados para el desplazamiento de pasajeros entre cubiertas de habilitación. Se ubicarán en grupos de dos en tres zonas diferenciadas del barco: proa, centro y popa. Los ascensores de proa van desde la cubierta 3 a la cubierta 9 debido a que las cubiertas 1 y 2 están destinada solo a la tripulación y en la cubierta 10 se encuentra a la intemperie, los ascensores centrales y de popa van desde la cubierta 3 hasta la 10.

Se opta, por tanto, por 6 ascensores de 8 personas cada uno. EL modelo elegido es el modelo TRIVUM de Enor para 8 personas que consume alrededor de 5.4 kW. Este modelo tiene unas dimensiones de cabina de 1100x1400mm con capacidad para 630 kg.

- Montacargas tripulación

Los montacargas se instalarán dos a popa que comunicarán desde la cubierta 3 a la 10 este montacargas está destinado para la tripulación que atenderá las zonas públicas situadas a popa (bares, casino, tienda, discoteca...) y también se instalará otro montacargas más a proa que conecta la lavandería en la cubierta 2 con el resto de cubiertas que tienen camarotes para el traslado de ropa de cama, toallas, etc. Esto se realiza de la siguiente manera para no interrumpir la zona diáfana del comedor y que el movimiento de ropas, productos de limpieza o servicios del crucero puedan realizarse de forma rápida y sencilla.

Se opta, por tanto, por 3 montacargas de 525 kg cada, modelo Evolux de la empresa gallega Enor con un consumo de 0.5 kW cada uno.

- Montaplatos

Finalmente, se dispondrán de dos montaplatos para comunicar la cocina con el restaurante de la cubierta superior. EL modelo comercial elegido es también de la casa Enor y puede cargar hasta 100 kg con una velocidad de 0.35 m/s con un consumo aproximado de 1.1 kW.

12 SISTEMAS DE CARGA Y DESCARGA

Un crucero es una embarcación destinada al transporte de pasajeros por lo que la carga no existe como tal, sino que son los propios pasajeros y el equipaje. Por tanto, los sistemas de carga y descarga serán aquellas pasarelas en las que se producirá el embarque y desembarque de los pasajeros.

El embarque se realizará mediante puertas estancas a la cubierta 4, donde se encuentra la recepción y un local para el equipaje. Las puertas estancas serán de tipo puerta lateral deslizante y sobre ellas se dispondrá de una pasarela para el embarque y desembarque de personas. Las pasarelas serán de tipo telescópicas fabricadas en aluminio resistente al agua de mar. Con unas medidas de 16.32mx0.90m. Pueden realizar un movimiento vertical desde la horizontal a 40° con un peso de 6200kg.

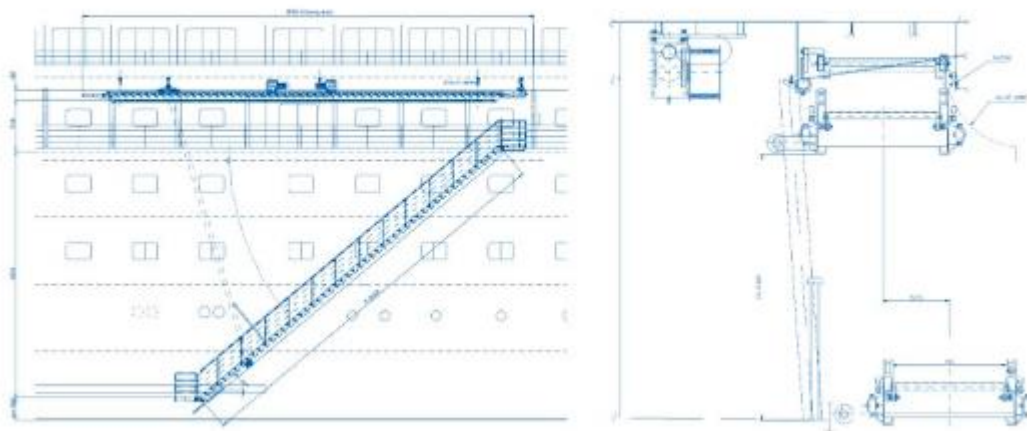


Figura 22: Pasarela

13 SISTEMA DE MANIOBRA

13.1 Hélice de proa

Aunque en nuestra RPA no figura como requisito del proyecto, se ha decidido instalar una hélice de proa, o empujador transversal, para aumentar la maniobrabilidad del crucero, esta decisión se ha tomado de acuerdo con lo que se ha visto en otros buques semejantes al buque proyecto.

Para dimensionar las hélices de proa se empleará la siguiente tabla obtenida del libro “Diseño Básico del Buque Mercante”:

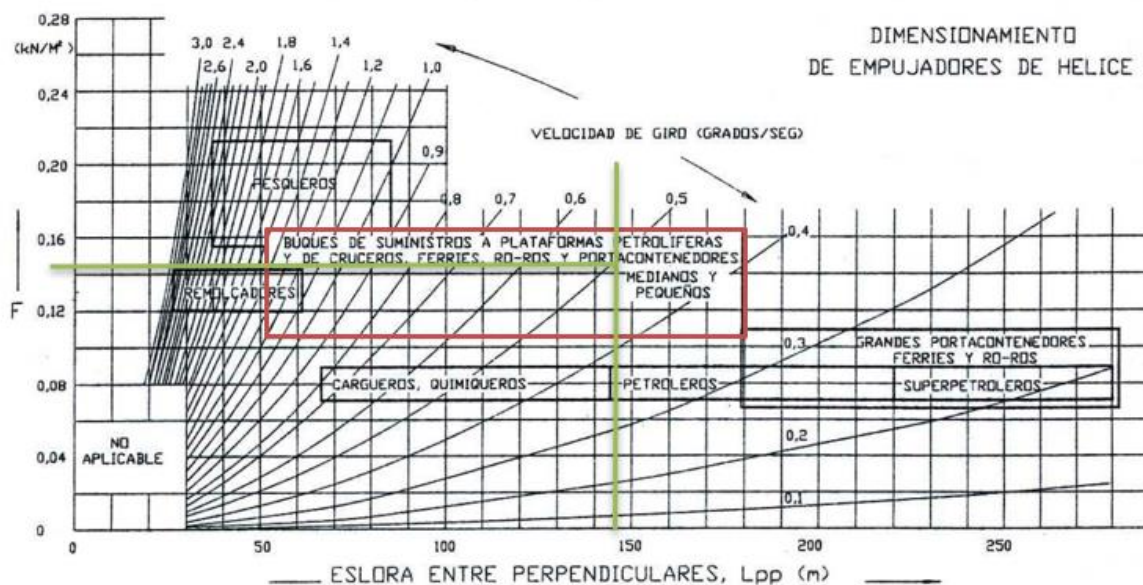


Figura 3.6.2.- Dimensionamiento de empujadores transversales.

En la tabla entramos con nuestra eslora entre perpendiculares en metros que es de 145 en el eje horizontal, después al tratarse de un buque de tipo crucero tenemos que movernos dentro de la zona marcada en rojo. Si seleccionamos una velocidad de giro de 0,5 %s, obtenemos una fuerza de 0,145 kN/m² de obra viva.

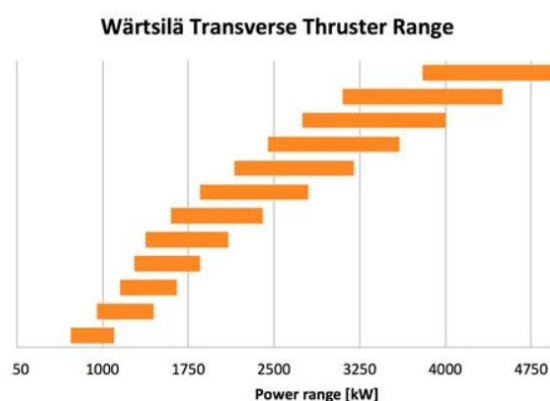
$$\text{Obra viva} = 6 \cdot 145 = 870 \text{ m}^2$$

$$F = 126.15 \text{ kN} = 12863.72 \text{ kg}$$

La potencia del propulsor es obtenida a una razón de 15 kg/kW (Cada kW proporciona un empuje de 15 kg):

$$P = \frac{12863.72}{15} = 857.6 \text{ kW}$$

Si observamos la siguiente tabla que nos permite ver el rango de potencias comerciales de propulsores trasversales, comprobamos que con una hélice transversal situada en la cuaderna 190 debería de proporcionarnos suficiente empuje.



Wärtsilä transverse thruster range.

WÄRTSILÄ TRANSVERSE THRUSTERS DIMENSIONS

Thruster type	Maximum Power ¹ Manoeuvring AUX (kW)	Dynamic Positioning DP (kW)	Propeller Diameter (D) (mm)	Length (L) (mm)	Weight ² (kg)
CT/FT 125 H	614	603	1250	1550	2820
CT/FT 150 H	880	789	1500	1800	4200
WTT-11	1100	1000	1750	1970	5672
WTT-14	1450	1300	2000	2195	8050
WTT-16	1650	1475	2200	2115	11300
WTT-18	1850	1825	2200	2275	12250
WTT-21	2100	1825	2400	2275	12975
WTT-24	2400	2150	2600	2390	13775
WTT-28	2800	2400	2800	2970	20029
WTT-32	3200	2800	3000	3150	25142
WTT-36	3600	3200	3200	3350	29530
WTT-40	4000	3600	3400	3520	30500
WTT-45 ³	4500	4050	3600	3950 ⁴	35350 ⁴
WTT-55 ³	5500	4900	4000	4300 ⁴	47650 ⁴

¹ Maximum power level is valid for uni-directional rotation (CPP).

Depending on propeller type, net frequency and class society, different power levels may apply.

² Version with CP propeller including a standard tunnel with E-motor support, excluding E-motor.

³ Available on request.

⁴ Preliminary values.

Figura 23:Empujador transversal. Wärtsilä

14 EQUIPO DE FONDA Y HOTEL

Al tratarse de un buque de pasaje los equipos de fonda y hotel cobran una gran importancia debido al gran volumen de personas a bordo, así como la necesidad de ofrecer un producto variado y de calidad. A continuación, se describen los elementos que componen los espacios de cocina, gambuzas y lavandería.

- Cocina

A bordo, podremos encontrar dos espacios destinados a la cocina. En primer lugar, la cocina destinada a cubrir el restaurante tipo buffet y los comedores de la tripulación. Esta cocina está ubicada en la cubierta principal y contiene todos los elementos necesarios en una cocina de tipo industrial. La cocina se dimensionará de forma que puede hacer frente al 50% del pasaje y a un tercio de la tripulación, es decir para 210 comensales.

Para comprobar que el área disponible de la cocina es suficiente para hacer frente a esta demanda, se considerará $0,5 \text{ m}^2$ por comensal. Por tanto, si la cocina ha de hacer frente a 210 asientos, el tamaño mínimo que ha de tener es de $0,5 \times 210 = 105 \text{ m}^2$. Del plano de la disposición general obtenemos que el área disponible en cocina es de 192 m^2 por lo que la cocina cumple con bastante margen el área mínima requerida.

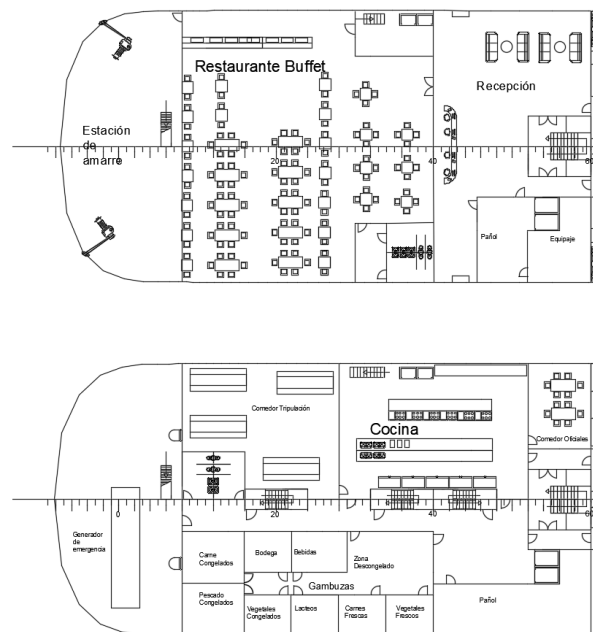


Figura 24: Cocina y restaurante

Todos los elementos serán eléctricos y entre los principales consumidores podemos encontrar: planchas de inducción, hornos, parrillas, planchas, microondas, freidoras, frigoríficos, batidoras, lavavajillas, freidoras, amasadora, peladora, entre otros.

En la cubierta 6 también existe otra cocina de pequeñas dimensiones que será la encargada de ofrecer el servicio al restaurante de pago del crucero. Esta cocina dispondrá de los mismos elementos, pero en dimensiones o cantidades menor. Los ingredientes y alimentos llegarán a ella a través de los montacargas destinados al servicio. Se considerará que el restaurante tiene una capacidad para 40 personas por lo que la cocina ha de tener un tamaño mínimo de 20 m^2 . Del plano obtenemos que su área total es de 29 m^2 .

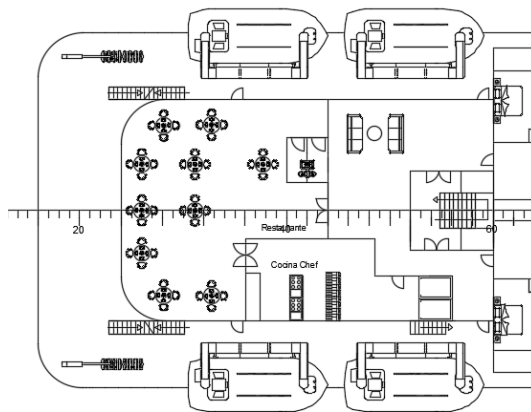


Figura 25: Restaurante cubierta 6

- Gambuzas

Debido a que a diferencia de lo que ocurre en restaurantes de tierra, la cocina de un barco de estas características no puede recibir productos frescos a diarios por lo que las gambuzas ocupan un espacio importante dentro del buque. En el barco irán dispuestas al lado de la cocina principal y estarán divididas en función de los diferentes alimentos que van a almacenar, así como si se tratan de productos frescos o congelados. Disponemos en total de 197m² destinados a gambuzas (591m³) ubicados en la cubierta 3, clasificados de la siguiente manera:

- Carne congelada (-20°C)
- Pescado congelado (-20°C)
- Vegetales congelados (20°C)
- Gambuza de lácteos (4 °C)
- Vegetales frescos (4°C)
- Carnes frescas (4°C)
- Bebidas (4°C)
- Bodega
- Provisiones secas

- Lavandería

El crucero también debe disponer de una lavandería de importantes dimensiones que irá ubicada en la cubierta 2 y que debe disponer de lavadoras, planchas, máquinas de planchado, secadoras y de un almacén tanto de ropa limpia como de ropa sucia. La función de la lavandería es tanto lavar los textiles del hotel (ropa de cama, toallas, manteles...), la ropa de la tripulación y también posibles encargos de lavandería del pasaje que supondrían un servicio extra ofrecido en el crucero. El montacargas de proa permite que todas las cubiertas estén comunicadas con la lavandería para facilitar el movimiento de las prendas sucias y limpias a través de las cubiertas. Se supondrán:

- 6 lavadoras
- 6 secadoras industriales
- 4 máquinas automáticas de planchado y doblado
- 3 máquinas de planchado manual

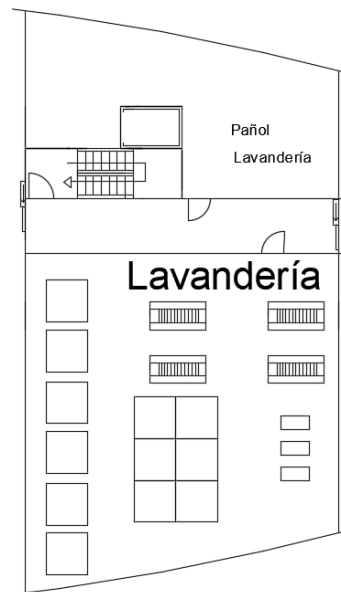


Figura 26: Lavandería

- Bares

Además de los restaurantes el buque dispondrá de 2 bares y una discoteca. Los bares están ubicados a popa de las cubiertas 5 y 7 y la discoteca se encuentra en la cubierta 9. Estas áreas deberán contar con un sistema de refrigeración de las bebidas por lo que en todas ellas se supondrán la existencia de una nevera, un congelador y una máquina de hielo.

En la discoteca irá equipada, además, con un equipo de sonido e iluminación.

- Spa, Gimnasio y centro de estética

El buque dispone en la cubierta 10 de un spa, gimnasio y un centro de estética. Los servicios presentes en estas instalaciones serán los habituales de estos centros. El centro de estética contará con utensilios de peluquería (lavaderos, secadores, planchas del pelo...) y cuidado personas (centro de maquillaje y depilación).

El gimnasio por otra parte estará equipado con las máquinas de ejercicio más comunes (cinta de correr, elíptica, bicicletas estáticas, remo, sala de musculación...). Finalmente, el spa estará dotado de dos salas de masaje privadas dotadas de bañeras hidromasajes y dos piscinas con chorros y cascadas.

15 NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES

En este apartado describiremos los equipos de navegación y comunicación que debe de poseer el buque proyecto. Los requisitos generales vienen dispuestos en el capítulo IV del SOLAS, Pt. C (Radiocomunicaciones. Equipos prescritos para los buques)

En este capítulo se señala que todo buque debe estar provisto de instalaciones radioeléctricas que irán situadas de modo que no se vean afectadas por ninguna interferencia y se garantice el mayor grado posible de seguridad y disponibilidad operacional, de forma que estén protegidas contra los efectos perjudiciales del agua, las temperaturas extremas... Deben ir provistas de alumbrado eléctrico de funcionamiento seguro independiente e las fuentes de energía principal y de emergencia y claramente marcadas con el dispositivo de llamada, la identidad de la estación de buque y otras claves para la utilización de la estación radioeléctrica.

La comunicación se realiza a través de canales radiotelefónicos VHF (Very High Frequency), también denominados de ondas métricas, y el control de los canales necesarios para la seguridad de la navegación debe ser accesible desde el puente de navegación y al alcance de puesto de ordenes de maniobra. También se dispondrán los medios que hagan posibles las radiocomunicaciones desde los alerones del puente de navegación (VHF portátil).

En buques de pasaje también debe disponerse un panel de socorro en el puesto de ordenes de maniobra, dicho panel contará con un botón que, de pulsarse, iniciará una alerta de socorro, EPIRB, etc. Se facilitará de forma continua y automática la información sobre la situación del buque a todo el equipo de radiocomunicaciones pertinente con el fin de que toda la información se incluya en la alerta inicial en caso de activar el pulsador. Se instalará también, un panel de alarma de socorro que proporcionará una indicación visual y acústica.

En este capítulo del SOLAS se describen los equipos radioeléctricos en función de las zonas marinas por la que viaje el buque:

GMDSS equipment requirements in force for all passenger ships in international trade as well as cargo ships of 300 gt and upwards in international trade:

(SOLAS 1974, as amended, chapter IV and IMO resolution A.702(17))

Equipment	A1	A2	A3 Inmarsat solution	A3 HF solution	A4
VHF with DSC	x	x	x	x	x
DSC watch receiver channel 70	x	x	x	x	x
MF telephony with MF DSC		x	x		
DSC watch receiver MF 2187.5 kHz		x	x		
Inmarsat ship earth station with EGC receiver			x		
MF/HF telephony with DSC and NBDP				x	x
DSC watch receiver MF/HF				x	x
Duplicated VHF with DSC			x	x	x
Duplicated Inmarsat SES			x	x	
Duplicated MF/HF telephony with DSC and NBDP					x
NAVTEX receiver 518 kHz	x	x	x	x	x
EGC receiver	x ¹	x ¹		x	x
Float-free satellite EPIRB	x	x	x	x	x ²
Radar transponder (SART)	x ²	x ²	x ²	x ²	x ²
Hand-held GMDSS VHF transceivers	x ³	x ³	x ³	x ³	x ³
For passenger ships the following applies from 01.07.97					
"Distress panel" (SOLAS regulations IV/6.4 and 6.6)	x	x	x	x	x
Automatic updating of position to all relevant radiocommunication equipment (regulation IV/6.5). This also applies for cargo ships from 01.07.02 (chapter IV, new regulation 18)	x	x	x	x	x
Two-way on-scene radiocommunication on 121.5 and 123.1 MHz from the navigating bridge (SOLAS regulation IV/7.5)	x	x	x	x	x

¹ Outside NAVTEX coverage area.

² Cargo ships between 300 and 500 gt: 1 set. Cargo ships of 500 gt and upwards and passenger ships: 2 sets.

³ Cargo ships between 300 and 500 gt: 2 sets. Cargo ships of 500 gt and upwards and passenger ships: 3 sets.

⁴ Inmarsat-E EPIRB cannot be utilized in sea area A4.

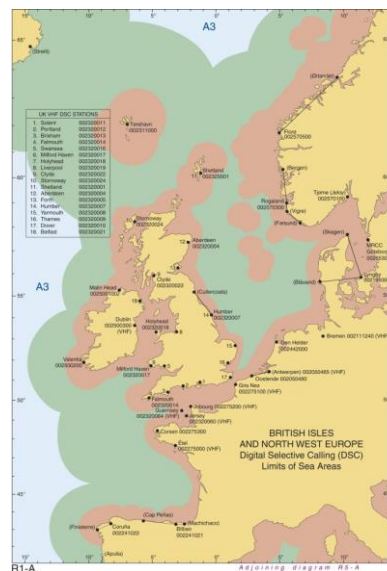


Figura 27: Equipos de navegación y control. SOLAS.

Como el buque navega por las zonas marítimas A1, A2 y A3 deberá disponer de los siguientes equipos radioeléctricos:

- Una instalación radioeléctrica de ondas métricas que pueda transmitir y recibir mediante LSD en la frecuencia de 156.525 MHz (canal 70) y mediante radiotelefonía en los canales 6, 13 y 16.

- Una instalación radioeléctrica que pueda mantener una escucha continua de LSD en el canal 70 de la banda de ondas métricas.
- Un dispositivo de localización de búsqueda y salvamento que pueda funcionar en la banda de 9 GHz o en frecuencias reservadas para el SIA (Sistema de identificación automática)
- Un receptor que pueda recibir las transmisiones del servicio NAVTEX
- Una instalación radioeléctrica para la recepción de información por el sistema de llamada intensificada a grupos de INMARSAT.
- Radiobaliza de localización de siniestros por satélite (RLS satelitaria)
- Medios que permitan mantener radiocomunicaciones bidireccionales, en el lugar del siniestro, para fines de búsqueda y salvamento desde el puesto habitual de gobierno del buque, utilizando las frecuencias aeronáuticas de 121.5 MHz y 123.1 MHz.
- Una estación terrena de INMARSAT
- Una instalación radioeléctrica de ondas hectométricas que pueda transmitir y recibir en las frecuencias de 2187.5 KHz utilizando LSD y 1282 KHz utilizando radiofonía
- Una instalación radioeléctrica que pueda mantener una escucha continua de LSD en la frecuencia de 2187,5 KHz
- Medios para iniciar la transmisión de alertas de socorro buque costera mediante un servicio de radiocomunicaciones que trabaje a través de servicio de satélites de órbita polar de 406 kHz, en ondas decamétricas utilizando LSD o a través del servicio de satélites geoestacionales de Inmarsat mediante una estación terrena de buque adicional.

En el SOLAS capítulo V (Seguridad en la navegación) se especifican los equipos que debe poseer el buque en función de su tipología y arqueo bruto, más particularmente en la Regla 19: Prescripciones relativas a los sistemas y aparatos náuticos que se han de llevar a bordo:

- Compás magistral magnético independiente de fuentes de energía (Bitácora) y uno extra de respeto
- Taxímetro o dispositivo de marcación de compás, independiente de cualquier suministro de energía
- Medios para corregir y obtener rumbo y la demora verdaderos.
- Cartas y publicaciones náuticas
- Receptor para el sistema mundial de navegación por satélite
- Un sistema de recepción acústica
- Una lámpara de señales diurnas
- Un sistema de alarma para la guardia de navegación en puente
- Una ecosonda
- Un radar de 9 GHz y de 3 GHz
- Un dispositivo medidor de velocidad y la distancia
- Sistema de identificación automática (SIA)
- Un girocompás
- Un repetidor de rumbo indicado por el girocompás
- Un repetidor de las marcaciones indicadas por el girocompás
- Indicadores de la posición de la hélice, la potencia y la dirección de empuje.
- Una ayuda de seguimiento automático
- Una ayuda de punteo de radar automática
- Un sistema de control del rumbo
- ECDIS
- Voyage Data Recorder (caja engra)

16 SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO

Todos los espacios de habilitación del buque estarán climatizados lo cual consiste en crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad y la calidad del aire interior. Para ello se dota al buque de un sistema de aire acondicionado, ventilación y calefacción también denominado HVAC (del inglés, Heating, Ventilating and Air Conditioning). La climatización de los buques viene prescrita en la norma UNE-EN ISO 7547 en la cual están especificadas las condiciones de diseño y los métodos de cálculo para el aire acondicionado y la ventilación de los espacios destinados a alojamientos.

En el buque proyecto todos los espacios interiores destinados al pasaje, así como los camarotes de la tripulación estarán climatizados a través de sistemas centrales de HVAC. Como se puede apreciar en la disposición general, en cada zona vertical principal se ha reservado suficiente espacio para almacenar el equipo suficiente para la climatización de esa zona desde la cubierta 2 a la cubierta 10. La cubierta una como ya hemos visto en el apartado de ventilación de cámara de máquinas no dispondrá de climatización si no, de ventilación simple.

Al mismo tiempo el DNV tiene un capítulo destinado a las condiciones de trabajo y de alojamiento (Pt. 6 Ch. 8) en el cual está incluido las condiciones interiores del aire (Sec. 1):

Table 20 Air properties and quality at different localities and comfort standard

Designated space type	Comfort rating number	Minimum air temperature control span ¹⁾		Maximum air velocity	Minimum fresh air supply quantity per person ²⁾		Vertical air temperature difference ⁴⁾	Relative humidity -RH ³⁾
	crn	15°C and below (outside)	40°C and above (outside)					
		Min./max. limit (°C)	Min./max. limit (°C)	m/s	litres/s	m ³ /hour	°C	%
A	1	18 to 24	22 to 28	0.25	10	36.0	2.0	30 to 60
	2	19.5 to 24	23.5 to 28	0.35	9	32.4	2.5	20 to 60
	3	21 to 24	25 to 28	0.40	8	28.8	3.0	< 65
B	1	18 to 24	22 to 28	0.15	12	43.2	2.0	30 to 60
	2	19.5 to 24	23.5 to 28	0.25	10	36.0	2.5	20 to 60
	3	21 to 24	25 to 28	0.35	8	28.8	3.0	< 65
C	1	20 to 24	23 to 28	0.20	10	36.0	2.0	30 to 60
	2	21 to 24	24 to 28	0.25	9	32.4	3.0	20 to 60
	3	22 to 24	25 to 28	0.35	8	28.8	3.5	< 65
D	1	20 to 24	23 to 28	0.25	10	36.0	2.0	30 to 60
	2	21 to 24	24 to 28	0.30	9	32.4	3.0	20 to 60
	3	22 to 24	25 to 28	0.40	8	28.8	3.5	< 65

1) For outside temperatures between 15°C and 40°C, the control span shall comply with the graphs shown in Figure 1 and Figure 2.
2) Unless otherwise specified by owner and yard, the number of persons in each designated space will be counted according to ISO7547.
3) Any relative humidity shall be within the range for all outdoor conditions the HVAC system is designed for. It is not necessary to meet the whole range during the specified design condition.
4) Vertical air temperature difference is normally tested for the low temperature condition only.

Type	Accommodation space
Type A	Cabins
Type B	Hospital and ward rooms
Type C	Wheelhouse, control rooms, office areas and public spaces intended for low physical activity such as conference rooms, libraries, card rooms, seating areas, etc.
Type D	Public spaces intended for high physical activity such as show lounges, dining areas, atriums, casinos, shopping areas, bars, dance lounges, discos, gymnasiums, etc.

Figura 28: Condiciones del aire. DNV.

3.2.2.4 For **crn = 1**: Local individual and automatic room temperature control (with thermostat) of designated spaces type A, B C and D are required.

3.2.2.5 For **crn = 2** and **crn = 3**: Individual room temperature control of designated spaces type A, B, C and D is required.

3.2.2.6 For passenger ships the given comfort rating number applies to the passenger areas only. Unless specified, the crew areas shall comply with minimum rating **crn = 3**.

El crn es el número de clasificación del ambiente siendo el 1 el más estricto y el 3 el menos estricto. A pesar de que en la RPA no viene definida que el buque tenga que cumplir uno de los niveles, se tendrá en cuenta esta tabla a la hora de tomar decisiones con respecto a la climatización.

El dimensionamiento de los sistemas de HVAC debe hacerse para las situaciones más extremas que son las altas temperaturas del verano y las bajas del invierno. En el buque proyecto, la situación más desfavorable se dará cuando hace calor y es necesario refrigerar el ambiente. Esto es obvio debido a que el buque está destinado a cubrir trayectos en la temporada estival tanto en el Mar Caribe como en el Mar Mediterráneo. La norma UNE nos proporciona las siguientes temperaturas a tener en cuenta en los cálculos.

4.2 Temperaturas y humedad de verano

Las temperaturas y humedad de verano son las siguientes:

- a) Aire exterior: +35 °C y 70% de humedad;
- b) Aire interior: +27 °C y 50% de humedad.

NOTA – En la práctica, las condiciones del aire interior obtenidas, en especial la humedad, pueden ser diferentes de las anteriormente establecidas.

4.3 Temperaturas de invierno

Las temperaturas de invierno son las siguientes:

- a) Aire exterior: -20 °C;
- b) Aire interior: +22 °C.

NOTA – Esta norma internacional no especifica requisitos para la humedad en invierno.

4.4 Aire exterior

La cantidad mínima de aire suministrado desde el exterior no debe ser inferior al 40% del aire total suministrado al espacio en cuestión.

En relación con la ocupación de los espacios la norma también nos proporciona unas referencias:

4.5 Ocupación

El número de personas que pueden ocupar los diversos espacios destinados a alojamientos debe ser el siguiente, a menos que se establezca otra cosa por el cliente.

- a) Cabinas:
 - el máximo número de personas para el que se ha diseñado la cabina.
- b) Espacios públicos tales como salones, comedores de tripulación o pasaje y salas de recreo:
 - el número de personas que pueden estar sentadas, o en el caso en que el cliente no lo especifique:
 - i) una persona por cada 2 m² de superficie del suelo para los salones;
 - ii) una persona por cada 1,5 m² de superficie del suelo para los comedores de de tripulación y pasaje;
 - iii) una persona por cada 5 m² de superficie del suelo para las salas de recreo.
- c) Despachos del capitán y del jefe de máquinas:
 - cuatro personas.
- d) Otros despachos privados:
 - tres personas.
- e) Hospital:
 - el número de camas más dos.
- f) Gimnasio, salas de juegos:
 - cuatro personas.
- g) Sala de primeros auxilios:
 - dos personas.
- h) Oficinas:
 - dos personas.

Por tanto, procederemos a hacer el cálculo para las condiciones de verano e invierno:

- Verano

En primer lugar, debemos hayar el valor de las pérdidas o ganancias, en vatios, en la transmisión de calor, para ello la norma nos aporta la siguiente fórmula:

$$\Phi = \Delta T((k_v A_v) + (k_g A_g))$$

Donde

ΔT es la diferencia de temperatura del aire. En la siguiente tabla se pueden apreciar las diferencias de temperatura entre los espacios interiores con aire acondicionado y sin aire acondicionado.

Tabla 1
Diferencias de temperatura entre espacios interiores contiguos

Cubierta o mamparo	ΔT , K	
	Verano	Invierno
Cubierta contigua a un tanque con calefacción	43	17
Cubierta con un mamparo contiguo a una cámara de calderas	28	
Cubierta y mamparo contiguos a una sala de máquinas y a una galería sin aire acondicionado	18	
Cubierta y mamparo contiguos a tanques sin calefacción, espacios de carga y equivalentes	13	42
Cubierta y mamparo contiguos a una lavandería	11	17
Cubierta y mamparo contiguos a locales sanitarios públicos	6	0
Cubierta y mamparo contiguos a locales sanitarios privados		
a) con alguna parte contigua a superficies exteriores expuestas	2	0
b) no expuestas	1	0
c) con alguna parte contigua a una cámara de máquinas/calderas	6	0
Mamparo contiguo a un pasillo	2	5
NOTA – Se entiende que existen sistemas de calefacción en los espacios sanitarios expuestos.		

Como todos los espacios estarán climatizados salvo la cubierta 1, no se considera una diferencia de temperatura entre espacios interiores contiguos.

k_v es el coeficiente de transmisión total de calor para la superficie A_v que excluye portillos y ventanas.

k_g es el coeficiente de transmisión total de calor para la superficie A_g que es el area de los portillos laterales y las ventanas rectangulares.

Tabla 2
Coeficiente de transmisión total de calor

Superficies	Coeficiente de transmisión total de calor, kW/(m²·K)
Cubierta de intemperie no expuesta a la radiación solar, costado del buque y mamparos exteriores	0,9
Cubierta y mamparos contiguos a la sala de máquinas, espacios de carga u otros espacios sin aire acondicionado	0,8
Cubierta y mamparos contiguos a la cámara de calderas o a una caldera en la sala de máquinas	0,7
Cubierta contigua al exterior o a otra cubierta de intemperie expuesta a la radiación solar y cubierta contigua a tanques calientes	0,6
Portillos laterales y ventanas rectangulares, con cristal simple	6,5
Portillos laterales y ventanas rectangulares, con cristal doble	3,5
Mamparo contiguo a un pasillo, sin insonorizar	2,5
Mamparo contiguo a un pasillo, insonorizado	0,9

Utilizamos una tabla excel para hallar el valor de la transmisión de calor en función de la zona:

Tabla 9: Cálculo transmisión de calor

Zona de fuego	Elemento	Superficie (m ²)	k (kW/m ² *K)	ΔT (K)	Φ (kW)
MVZ Proa	Suelo Cubierta 2	713	0,8	18	10267,2
	Estribor	379	0,9	8	2728,8
	Babor	379	0,9	8	2728,8
	Techo	713	0,6	8	3422,4
	Proa	372	0,9	8	2678,4
	Ventanas y portillos	758	3,5	8	21224
Total					43049,6
MVZ Central	Suelo Cubierta 2	1045	0,8	18	15048
	Estribor	587,5	0,9	8	4230
	Babor	587,5	0,9	8	4230
	Techo	1045	0,6	8	5016
	Ventanas y portillos	1175	3,5	8	32900
Total					61424
MVZ Popa	Suelo Cubierta 3	1002	0,8	18	14428,8
	Estribor	439,5	0,9	8	3164,4
	Babor	439,5	0,9	8	3164,4
	Techo	1002	0,6	8	4809,6
	Popa	462	0,9	8	3326,4
	Ventanas y portillos	879	3,5	8	24612
Total					53505,6

También deberá tenerse en cuenta el calor aportado por la radiación solar:

$$\Phi_s = \sum A_v k \Delta T_r + \sum A_g G_s$$

Donde

A_v es la superficie expuesta a la radiación solar, excluyendo portillos y ventanas

K coeficiente de transmisión total de calor

ΔT_r aumento de temperatura causado sobre la superficie por radiación solar:

$\Delta T_r = 12$ K para las superficies verticales de color claro,

$\Delta T_r = 29$ K para las superficies verticales de color oscuro,

$\Delta T_r = 16$ K para las superficies horizontales de color claro,

$\Delta T_r = 32$ K para las superficies horizontales de color oscuro;

A_g es el área de las superficies de cristal expuestas a la radiación solar

G_s es el aumento de calor debido a las superficies de cristal:

$G_s = 350 \text{ W/m}^2$ para las superficies de cristal claro,

$G_s = 240 \text{ W/m}^2$ para las superficies de cristal claro con el interior sombreado.

En las esquinas se tomará el lado que produce un Φ_s mayor con el fin de considerar la situación más desfavorable.

Tabla 10: Calor aportado por radiación solar

Zona de fuego	Elemento	Superficie (m ²)	k (W/m ² *K)	ΔT (K)	G	Φ (W)
MVZ Proa	Estribor	379	0,9	29		9891,9
	Babor	379	0,9	29		9891,9
	Techo	713	0,6	16		6844,8
	Proa	372	0,9	29		9709,2
	Ventanas y portillos	758			350	265300
	Total					301637,8
MVZ Central	Estribor	587,5	0,9	29		15333,75
	Babor	587,5	0,9	29		15333,75
	Techo	1045	0,6	16		10032
	Ventanas y portillos	1175			350	411250
	Total					451949,5
MVZ Popa	Estribor	439,5	0,9	29		11470,95
	Babor	439,5	0,9	29		11470,95
	Techo	1002	0,6	16		9619,2
	Popa	462	0,9	29		12058,2
	Ventanas y portillos	879			350	307650
	Total					352269,3

También habrá que considerar el calor aportado por las personas:

Tabla 4
Actividad del cuerpo y emisión de calor

Actividad	Tipo de calor	Emisión W	
Sentado en reposo	Calor sensible	70	} 120
	Calor latente	50	
Trabajo mediano/duro	Calor sensible	85	} 235
	Calor latente	150	

Para hallar el número de personas de cada zona principal vertical se ha considerado la peor situación para cada una de ellas que son las siguientes:

- MVZ Popa: un 80% del pasaje y un 30% de la tripulación realizando un trabajo medio-bajo
- MVZ central : toda el pasaje en sus camarotes (aquellos ubicados en la zona central) y un 50% de la tripulación en reposo
- MVZ Proa: todo el pasaje en sus camarotes (aquellos ubicados en la zona de proa) más un 30% de la tripulación realizando un trabajo medio-bajo

En las zonas de proa y popa el trabajo será medio-bajo porque el pasaje tenderá a encontrarse en estado de reposo salvo por el gimnasio, y un porcentaje de la tripulación estará en movimiento pero algún tipo de trabajo como despavos o puente, también, se realiza en reposo. En la zona central solo se consideran personas en reposo porque solo hay camarotes.

Tabla 11: Calor aportado por las personas

Zona de fuego	Número de personas	Emisión de (W)	Φ (W)
MVZ Proa	164	170	334
MVZ Central	404	120	524
MVZ Popa	318	170	488

Finalmente, habrá que añadir al cálculo el calor aportado por la iluminación y otras fuentes:

Tabla 5
Calor aportado por la iluminación general

Espacio	Calor aportado por la iluminación general W/m ²	
	Incandescente	Fluorescente
Cabinas, etc.	15	8
Comedores de tripulación o pasaje	20	10
Gimnasios, etc.	40	20

El calor aportado por un frigorífico se debe tomar como 0,3 W/l de su capacidad de almacenamiento, a menos que el cliente especifique otra cosa.

Otras fuentes de aporte de calor, tales como dispositivos que funcionen durante períodos de tiempo considerables al día, sólo se deben tomar en consideración si lo especifica el cliente.

Se deben despreciar los dispositivos eléctricos que funcionen temporalmente, tales como aparatos de radio y televisión, calentadores de agua para el té, etc.

El calor aportado en la cabina de radio por el equipo, etc., se debe tomar como 2,5 kW, a menos que el cliente especifique otra cosa.

Del calor aportado por los ventiladores se debe tomar el necesario para aumentar la temperatura del aire en 1 °C/kPa de aumento de presión.

El aumento de la temperatura del aire en los conductos se debe limitar a + 2 °C.

El buque irá dotado de iluminación tipo LED, al no disponer de datos de calor aportado por este tipo de iluminación pero sabiendo que es mucho inferior a las otras tipologías consideraremos una emisión de 8 W/m² para todos los tipos de espacios:

Tabla 12: Calor aportado por la iluminación

Zona de fuego	Número de personas	Emisión (W)	Φ (W)
MVZ Proa	164	170	334
MVZ Central	404	120	524
MVZ Popa	318	170	488

Todas las superficies empleadas en este apartado han sido calculadas mediante la herramienta “medir área” de AutoCad sobre la disposición general.

Si consideramos todo el calor aportado, los resultados finales son los siguientes:

Tabla 13: Resultados finales transmisión de calor

Zona de fuego	Superficie (m ²)	Emisión (W/m ²)	Φ (W)
MVZ Proa	4446	8	4454
MVZ Central	7686	8	7694
MVZ Popa	4515	8	4523

Recordemos que estos datos obtenidos se corresponden con la condición de verano que será la condición más desfavorable al tratarse de un crucero que navega siempre en climas calurosos.

Para el cálculo del flujo de aire a para el aire acondicionado se tendrá en cuenta el flujo de aire necesario para mantener las condiciones de las de verano, así como para asegurar un suministro de aire del exterior no inferior a 0.008m³/s por persona en el espacio en el que ha sido diseñado. El suministro de aire a las cabinas con instalaciones sanitarias provadas debe ser como mínimo un 10% superior a la cantidad de aire extraída de las instalaciones sanitarias. La temperatura del flujo de aire a suministrar no debe ser 10°C inferior a la temperatura media ni mas de 23°C superior. El flujo de aire de extracción en zonas comunes debe ser el mismo que el flujo de aire a suministrar y en hospitales y gambuzas al menos el 20% superior. En los espacios sanitarios privados debe ser de un 0,02 m³/s o el correspondiente a 10 renovaciones de aire por hora, en los espacios sanitarios comunes debe ser de 0,3 m³/s o bien el necesario para efectuar al menos 15 renovaciones y en vestuarios, lavabos y cuartos de limpieza 10.

El sistema se debe compensar positivamente (aplicable a cada cubierta por separado). Donde haya maquinas secadoras se debe tener en cuenta la información del fabricante para fijar la compensación entre el suministro y la extracción y en los hospitales y gambuzas se debe mantener una presión ligeramente inferior.

Recordemos la siguiente fórmula vista en el apartado de ventilación de cámara de máquinas:

$$q = \frac{\phi}{\rho \cdot c \cdot \Delta t}$$

ρ es la densidad del aire a 25°C, 70%RH y 101.3 Kpa con un valor de 1.2 kg/m³

c es el calor específico del aire a 25°C, 70%RH y 101.3 Kpa con un valor de 1.101 kJ/kg°C

Δt es el incremento de temperatura media del local. Como acabamos de ver la temperatura del flujo de aire a suministrar no debe ser 10°C inferior. Por tanto, $\Delta t = 10$

Tabla 14: Características necesarias sistemas de HVAC

Zona de fuego	Φ (W)	Q (m ³ /s)
MVZ Proa	349475,4	28,8
MVZ Central	521591.5	43.0
MVZ Popa	410785,9	33,9

Se obtienen así las características principales de los sistemas HVAC de cada zona de fuego: la potencia calorífica a generar y el caudal de aire a mover.

Las diferentes zonas del buque requerirán diferentes caudales para que la ventilación y climatización sea satisfactoria. Los baños de los camarotes del pasaje tienen 15 m³, 23.5 m³ y 35.4 m³ de volumen, por lo que el caudal de aire necesario para realizar 10 renovaciones por hora es 150m³/h (0.04m³/s), 235m³/h (0.065m³/s) y 354m³/h (0.098m³/s) respectivamente. Como se puede comprobar todos ellos exceden del 0.02 m³/s que dice el reglamento y por tanto supondrán el caudal mínimo de aire a extraer. En los camarotes por tanto, deberán tener un caudal de aire superior en un 10% de los anteriores, esto equivale a 0.044, 0.072 y 0.1 m³/s.

Los baños de la tripulación tienen un volumen de 8.1 m³ por lo que se requiere al menos un caudal de extracción de 0.0225m³/s y en consecuencia cada camarote debe recibir al menos 0.25m³/s.

Los baños de uso público (tomaremos el de mayor tamaño) con un volumen de 72m³ requerirán un caudal de aire de extracción suficiente para realizar 15 renovaciones hora es decir, 0.3 m³/s. Al igual que en la lavandería que tiene un volumen de 329 m³ y por tanto necesitará un flujo de aire de 1.4m³/s.

- Invierno

Se procede de la misma manera, pero en este caso solo es necesario considerar la transmisión de calor.

Tabla 15: Transmisión de calor invierno

Zona de fuego	Elemento	Superficie (m ²)	k (W/m ² *K)	ΔT (K)	Φ (W)
MVZ Proa	Suelo Cubierta 2	713	0,8	17	9696,8
	Estribor	379	0,9	42	14326,2
	Babor	379	0,9	42	14326,2
	Techo	713	0,6	42	17967,6
	Proa	372	0,9	42	14061,6
	Ventanas y portillos	758	3,5	42	111426
				Total	181804,4
	Suelo Cubierta 2	1045	0,8	17	14212

MVZ Central	Estribor	587,5	0,9	42	22207,5
	Babor	587,5	0,9	42	22207,5
	Techo	1045	0,6	42	26334
	Ventanas y portillos	1175	3,5	42	172725
Total					257686
MVZ Popa	Suelo Cubierta 3	1002	0,8	17	13627,2
	Estribor	439,5	0,9	42	16613,1
	Babor	439,5	0,9	42	16613,1
	Techo	1002	0,6	42	25250,4
	Popa	462	0,9	42	17463,6
	Ventanas y portillos	879	3,5	42	129213
Total					218780,4

Como se puede apreciar, las condiciones de verano son las más restrictivas como se había previsto. Además hay que tener en cuenta que el buque nunca navegara con unas temperaturas exteriores por debajo de los -20°C, por lo que nunca será necesario una calefacción con la capacidad calculada. Por lo que para seleccionar las plantas de aire acondicionado tendremos en cuenta los próximos valores obtenidos para las condiciones de verano:

Tabla 16: Condición de verano HVAC

Zona de fuego	Φ (W)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /h)
MVZ Proa	181804,4	15,000363	54001,3069
MVZ Central	257686	21,2612211	76540,396
MVZ Popa	218780,4	18,0511881	64984,2772

Las plantas seleccionadas serán de la empresa Heinen & Hopman del tipo Package Unit cuyos parámetros se especifican en la siguiente tabla:

Model number	Air quantity range	Cooling capacity range	Compressor power range	Heating capacity range	Fan motor power consumption	Class	Dimensions in mm
HH-PU-1	1500-3500 m ³ /hr	30-65 kW	9-19 kW	20-50 kW	1.5-3 kW	IP 54 isol. F	2650x1030x1660
HH-PU-2	3500-7000 m ³ /hr	65-95 kW	18-26 kW	50-100 kW	3-5.5 kW	IP 54 isol. F	3050x1260x1960
HH-PU-3	7000-11000 m ³ /hr	95-135 kW	26-39 kW	70-150 kW	5.5-11 kW	IP 54 isol. F	3150x1530x2080
HH-PU-4	11000-15000 m ³ /hr	135-170 kW	39-45 kW	140-220 kW	11-15 kW	IP 54 isol. F	3350x1800x2230

Figura 29: Equipos HVAC

En proa tendremos 3 plantas del modelo HH-PU-3 con una capacidad máxima de refrigeración de 135 kW cada una lo que supone una capacidad total de 405 kW. En la zona central tendremos 4 plantas del modelo HH-PU-4 con una capacidad máxima de 170 kW cada una lo que equivale a una capacidad refrigerante de 680 W en cada zona y en popa 3 plantas HH-PU-3 con una capacidad de refrigeración máxima de 510 kW. En la misma tabla también se especifican los consumos de los ventiladores que equivalen a una potencia aproximada de 88 kW.

ANEXO XII.I: CATÁLOGOS COMERCIALES

PRODUCTS - PACKAGE UNIT

The package unit type HH-PU is a compact unit specially designed for marine installations as air supply for single pipe and or dual pipe systems on board of ships and platforms.

The HH-PU contains of an air handling unit and a cooling plant.

KEY FEATURES

- Semi-hermetic compressor;
- Frame of galvanized steel or stainless steel including vibration dampers;
- All necessary control equipment for accurate control of correct working of the package unit;
- Design comply according to EN 1886 and EN 378, other International standards are available on request.



Model number	Air quantity range	Cooling capacity range	Compressor power range	Heating capacity range	Fan motor power consumption	Class	Dimensions in mm
HH-PU-1	1500-3500 m³/hr	30-65 kW	9-19 kW	20-50 kW	1.5-3 kW	IP 54 isol. F	2650x1030x1660
HH-PU-2	3500-7000 m³/hr	65-95 kW	18-26 kW	50-100 kW	3-5.5 kW	IP 54 isol. F	3050x1260x1960
HH-PU-3	7000-11000 m³/hr	95-135 kW	26-39 kW	70-150 kW	5.5-11 kW	IP 54 isol. F	3150x1530x2080
HH-PU-4	11000-15000 m³/hr	135-170 kW	39-45 kW	140-220 kW	11-15 kW	IP 54 isol. F	3350x1800x2230



TRIVIUM

RESPETA EL MEDIO AMBIENTE

NO PRECISA LUBRICACIÓN Y AHORRA ENERGÍA

Ni las cintas, ni la máquina con rodamientos sellados requieren ningún tipo de lubricante contaminante.

La máquina de baja inercia sin engranajes y con rodamientos sellados, cuenta con un control de movimiento por frecuencia variable y lazo cerrado, con lo que se logra:

- Ahorros de energía sustanciales, si se compara con máquinas convencionales, que son más grandes.
- Reducción de la potencia instalada y, por tanto, reducción de los costes operacionales.



AHORROS DE MÁS DEL 70%

Los ascensores TRIVIUM pueden ahorrar más del 70% en el consumo energético del motor. A continuación se muestra un comparativo de potencia contratada y consumo del motor, según el tipo de ascensor, y del consumo de la iluminación en cabina, según tenga fluorescentes sin apagado automático o LED con apagado automático:

Ascensor	Hidráulico		Tracción de 2 velocidades		TRIVIUM	
	Potencia contratada	Consumo	Potencia contratada	Consumo	Potencia contratada	Consumo
4	13,5 kW	1.352 kWh / año	7,3 kW	659 kWh / año	3,3 kW	422 kWh / año
6	16 kW	1.793 kWh / año	9,2 kW	770 kWh / año	3,3 kW	469 kWh / año
8	17 kW	2.400 kWh / año	9,2 kW	924 kWh / año	5,4 kW	532 kWh / año
Luz en cabina	Consumo sin apagado automático y con fluorescentes		Consumo sin apagado automático y con fluorescentes		Consumo con apagado automático y con LED	
	840 kWh / año		840 kWh / año		7 kWh / año	

Valores meramente orientativos, estos pueden variar en función de las condiciones de la instalación. Valores según la categoría de uso 2 de acuerdo con la norma VDI 4707 (tiempo de viaje medio de 30 min. al día). Velocidad nominal del TRIVIUM y del ascensor de tracción de dos velocidades: 1 m/s. Velocidad nominal del ascensor hidráulico: 0,63 m/s.

El ahorro que se obtiene en kWh y en euros, gracias al TRIVIUM y a su sistema de apagado automático de luz en cabina, es el siguiente:

Ascensor	Hidráulico	Tracción de 2 velocidades	Hidráulico	Tracción de 2 velocidades
	Ahorro energético		Ahorro económico (incluyendo potencia contratada)	
4	930 kWh (68,8%)	237 kWh (36,0%)	681 €	244 €
6	1.324 kWh (73,8%)	301 kWh (39,1%)	878 €	352 €
8	1.868 kWh (77,8%)	392 kWh (42,4%)	918 €	261 €
Luz en cabina	833 kWh	833 kWh	147 €	147 €

Ahorro anual por potencia contratada, consumo del motor y por el sistema de apagado automático de luz en cabina. Suponiendo un coste por kWh de 0,14 € y un coste por kW de 40,20 € al año, más impuestos.

Calculamos que si se sustituyesen todos los ascensores existentes en España por los ascensores TRIVIUM, se ahorrarían unos 1.300 millones de kWh al año, lo que equivale al gasto eléctrico doméstico de una ciudad como Málaga.

Esto supondría reducir las emisiones de CO₂ en 845 millones de Kg. al año, el equivalente a las emisiones de 260.000 automóviles.

NOTA: Los ahorros en euros pueden variar según la tarifa aplicada por la compañía eléctrica.



CONFIGURACIÓN Y DIMENSIONES A 1,6 m/s y 1,75 m/s

CAPACIDAD		6S	6D	7D	8D	9D	10W	12D		
CARGA (kgs)		450	480	525	630	675	800	900		
DIMENSIONES CABINA (mm)	CW	1000	1000	1000	1100	1100	1350	1100		
	CD	1250	1300	1350	1400	1500	1400	1850		
DIMENSIONES PUERTAS (mm)	Telescópica (TLD)	800/900	800/900	800/900	800/900	800/900	900	900		
	Ap. Central (CLD)	800	800/900	800/900	800/900	800/900	900	800/900		
HUECO (mm)	HW		1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900)	1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1950 (CLD900)	1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1950 (CLD900)	1610 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 2000 (CLD900)	1610 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 2000 (CLD900)	1900 (TLD900) 2000 (CLD900)	1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1975 (CLD900)	
			WTW		1 Embarque	1500	1550	1610	1650	1750	1650	2100
	2 Embarques	1600	1650	1700	1750	1850	1750	2200		

CAPACIDAD		12W	13D	13S	13W	16D*	21D*	21W*	
CARGA (kgs)		900	1000	1000	1000	1250	1600	1600	
DIMENSIONES CABINA (mm)	CW	1400	1100	1400	1600	1200	1400	2050	
	CD	1500	2100	1600	1400	2300	2400	1700	
DIMENSIONES PUERTAS (mm)	Telescópica (TLD)	900	900	900	---	1100	1300	---	
	Ap. Central (CLD)	900	800/900	900	900/1000/1100	---	---	1100/1300/1800	
HUECO (mm)	HW		1950 (TLD900) 1975 (CLD900)	1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1975 (CLD900)	1950 (TLD900) 1975 (CLD900)	2150 (CLD900) 2200(CLD1000) 2400 (CLD1100)	1950	2100	2700 (CLD1100) 2850 (CLD1300) 2900 (CLD1800)
	WTW	1 Embarque	1750	2350	1850	1650	2550	2710	1950 (CLD1100/1300) 1965 (CLD1800)
		2 Embarques	1850	2450	1950	1750	2650	2870	2050 (CLD1100/1300) 2080 (CLD1800)

Dimensiones de puertas montadas sobre piso
Foso: 1150 a 1,6 m/s y 1250 a 1,75 m/s
Cuadro de maniobra: 330 mm de ancho x 95 mm de fondo x 2100 mm de alto para ascensores de hasta 630 Kg (8p) y 400 mm de ancho x 205 mm de fondo x 2100 de alto para 9, 10,12 y 13 p.
160 mm x 90 mm x 2000/2100 mm de alto para 16 y 21 p.

* Contrapeso con seguridad
CW= Ancho de cabina
CD= Profundidad de cabina
HW= Ancho de hueco
WTW= Profundidad de hueco

Altura de puertas	Altura de cabina	Recorrido seguridad a 1,6	Recorrido seguridad a 1,75	Disponibilidad
2000	2200	3550	3600	Estándar
2100	2300	3650	3700	Opcional
2100	2300	3950	4050	Para 16 y 21 p.

La empresa se reserva el derecho de modificar sin previo aviso sus modelos, así como sus características, equipos y accesorios, siempre que ello signifique una mejora en la instalación. Consultar para fosos y recorridos de seguridad inferiores a nuestro departamento técnico.



CONFIGURACIÓN Y DIMENSIONES A 1,00 m/s

CAPACIDAD			4D	5D	6S	6D	7D	8D	9D	10W
CARGA (kgs)			320	400	450	480	525	630	675	800
DIMENSIONES CABINA (mm)	CW		840	840	1000	1000	1000	1100	1100	1350
	CD		1050	1200	1250	1300	1350	1400	1500	1400
DIMENSIONES PUERTAS (mm)	Telescópica (TLD)		700	700	800/900	800/900	800/900	800/900	800/900	900
	Ap. Central (CLD)				800	800/900	800/900	800/900	800/900	900
HUECO (mm)	HW		1350	1350	1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900)	1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1950 (CLD900)	1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1950 (CLD900)	1600 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 2000 (CLD900)	1600 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 2000 (CLD900)	1900 (TLD900) 2000 (CLD900)
	WTW	1 Embarque	1300	1450	1500	1550 (TLD800) 1550 (TLD 900) 1550 (CLD 800 y 900)	1600	1650	1750	1650
		2 Embarques	1400	1550	1600	1650	1700	1750	1850	1750

CAPACIDAD			12D	12W	13D	13S	13W	16D	21D	21W
CARGA (kgs)			900	900	1000	1000	1000	1250	1600	1600
DIMENSIONES CABINA (mm)	CW		1100	1400	1100	1400	1600	1200	1400	2050
	CD		1850	1500	2100	1600	1400	2300	2400	1700
DIMENSIONES PUERTAS (mm)	Telescópica (TLD)		900	900	900	900		1100	1300	
	Ap. Central (CLD)		800/900	900	800/900	900	900/1000/1100			1100/1300/1800
HUECO (mm)	HW		1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1975 (CLD900)	1950 (TLD900) 1975 (CLD900)	1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1975 (CLD900)	1950 (TLD900) 1975 (CLD900)	2150 (CLD900) 2200(CLD1000) 2400 (CLD1100)	1950	2100	2650 (CLD1100) 2850 (CLD1300) 2900 (CLD1800)
	WTW	1 Embarque	2100	1750	2350	1850	1650	2550	2710	1950 (CLD1100/1300) 1965 (CLD1800)
		2 Embarques	2200	1850	2450	1950	1750	2650	2870	2050 (CLD1100/1300) 2080 (CLD1800)

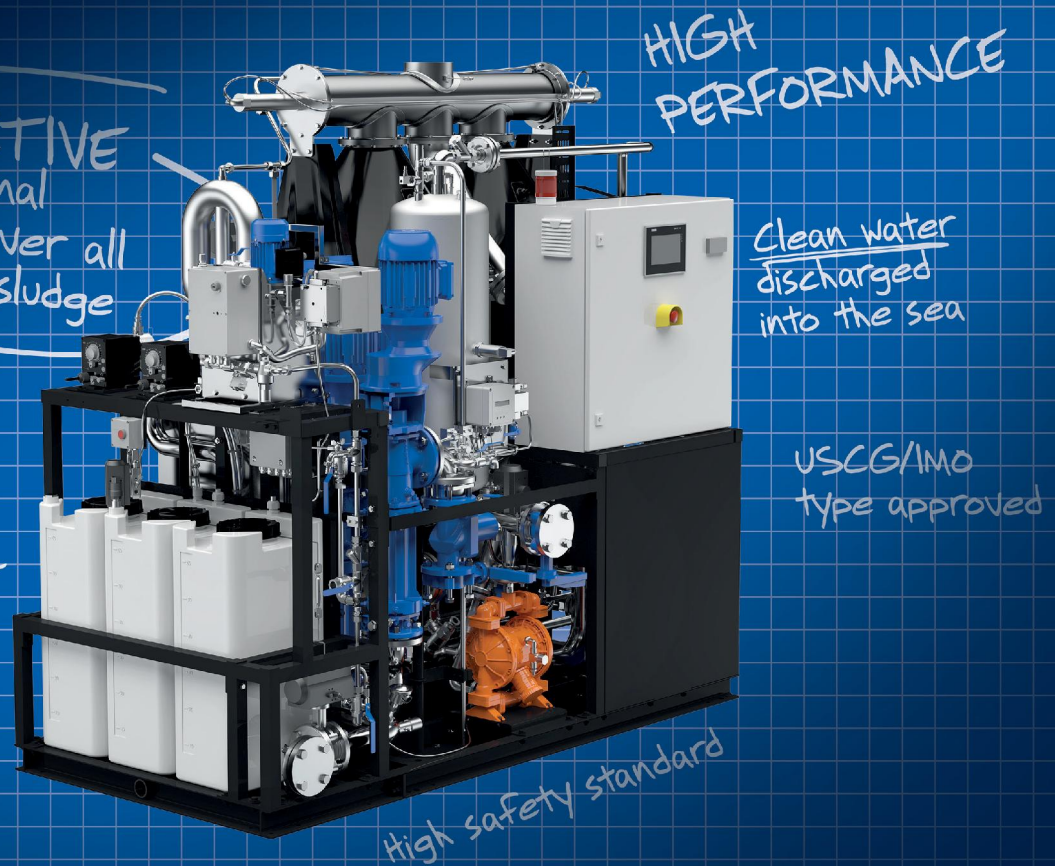
Dimensiones de puertas montadas sobre piso
Foso: 1000 a 1,0 m/s
Cuadro de maniobra: 330 mm de ancho x 95 mm de fondo x 2100 mm de alto para ascensores de hasta 675 kg (9p) y 400 mm de ancho x 205 mm de fondo x 2100 de alto para 10,12 y 13 p.
160 mm x 90 mm x 2000/2100 mm de alto para 16 y 21 p.

CW= Ancho de cabina
CD= Profundidad de cabina
HW= Ancho de hueco
WTW= Profundidad de hueco

Altura de puertas	Altura de cabina	Recorrido seguridad a 1 m/s	Disponibilidad
2000	2100	3300	Opcional hasta 13 p.
2000	2200	3400	Estándar hasta 13 p.
2100	2300	3500	Opcional hasta 13 p.
2100	2300	3800	Estándar para 16 y 21 p.

La empresa se reserva el derecho a modificar sin previo aviso sus modelos, así como sus características, equipos y accesorios, siempre que ello signifique una mejora en la instalación. Consultar para fosos y recorridos de seguridad inferiores a nuestro departamento técnico.

WÄRTSILÄ OILY WATER TREATMENT SYSTEM



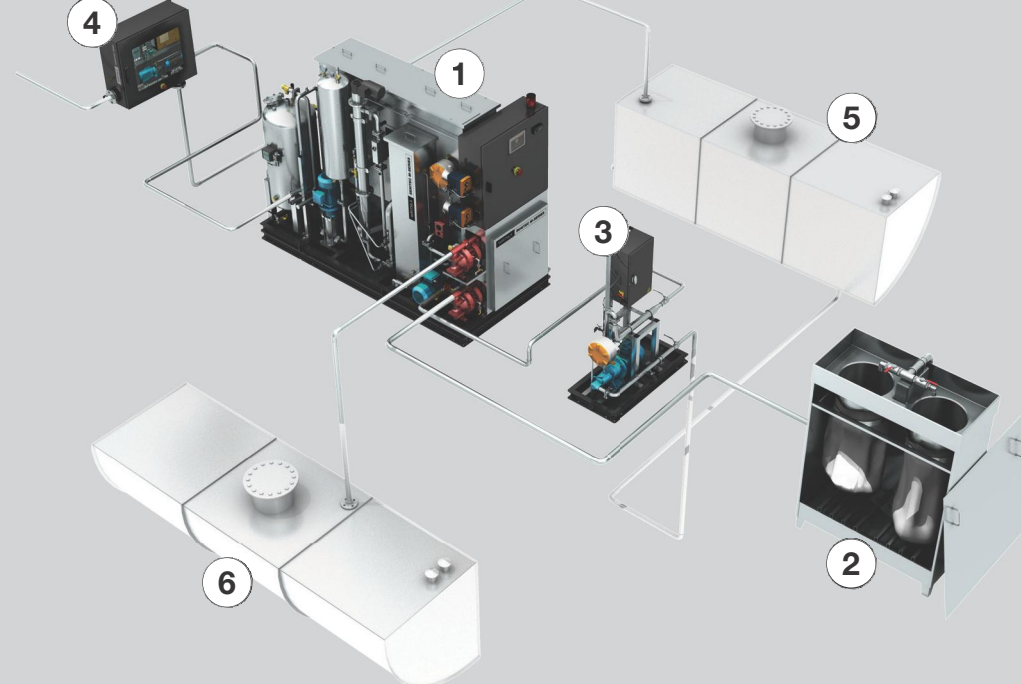
Environmental issues are a growing concern for companies involved in shipping as well as for governments and global organisations. Although shipping is already one of the most environmentally friendly modes of transportation of goods and people, more and more focus is put on minimizing different types of effluents into air and water. Legislative actions already in operation or coming in the near future also focus on keeping the seas clean.

With the aid of Wärtsilä OWS series oily water treatment system, the environmental aspects regarding bilge water issues are easily handled with minimum impact for the operation staff and with results that easily surpasses the legislative requirements both of today and tomorrow.

The Wärtsilä OWS series units are IMO and US Coast Guard approved and gives the operator effective control over all bilge media as well as over any discharges made into the sea.

The system guarantees a maximum oil content in the effluent of 5 or 15 ppm (parts per million) depending on specification, with real case levels being below 1 ppm during continuous operation. The units are designed to conform to the highest safety standards, an essential factor for their competitiveness but also a substantial value in itself. No accident, discharge or injury should be caused by our equipment.





COMPLETE WÄRTSILÄ OILY WATER TREATMENT SYSTEM

1. Wärtsilä OWS oily water separator
2. Solidpac solids dewatering unit (optional)
3. Onsys pre-system (compulsory on OWS 500 and OWS 2500)
4. Wärtsilä BWG bilge discharge monitoring system (optional)
5. Bilge tank
6. Sludge tank

SERVICE AND SUPPORT

Wärtsilä supports its customers throughout the lifecycle of their installations by optimizing efficiency and performance. We offer expertise, proximity and responsiveness for all our customers in the most environmentally sound way.

Our Services & Support solutions range from basic support, installation and commissioning, performance optimization, upgrades and conversions to service projects and agreements focusing on overall equipment performance and asset management.

We deliver aftersales support through our network of service centres in over 70 countries worldwide.

UNSURPASSED TREATMENT QUALITY

The mixture of fuel oils, lubricants, detergents, solvents and water on board often creates stable emulsions in the bilge water tanks. Without modern and effective bilge water cleaning equipment this may lead to discharges of bilge water containing oil and hazardous components at sea or to unnecessarily high amounts of waste being pumped ashore. The heart of the Wärtsilä range of oily water separators is a groundbreaking separating process which effectively sorts out oil traces even from complicated emulsions. Together with the Solidpac add-on, the units can reduce the amount of bilge water for disposal ashore with as much as 95 percent, enabling substantial net savings in disposal costs.

SAFE AND SECURE OPERATION

Safety is another key aspect of bilge water treatment. With older treatment units, an operator normally had to stand watch in order to secure the treatment operation. The Wärtsilä OWS series range from Wärtsilä obviates the need of this as it constantly evaluates the effluent and its own operation parameters. When the treatment quality decreases or routine or unplanned maintenance is needed, a warning is shown on the operator console on the unit and on the optional control screen on the bridge or in the control room. The operator is then guided through the actual corrective actions, all in order to ease and speed up the way back to full operation.



TECHNICAL SPECIFICATION

Model	OWS 500	OWS 1000	OWS 2500	OWS 5000
Max. capacity	0.5 m³/h	1.0 m³/h	2.5 m³/h	5.0 m³/h
Max. capacity	2.2 gpm	4.4 gpm	11.0 gpm	22.0 gpm
Max. oil in effluent	5 ppm / 15 ppm*	5 ppm / 15 ppm*	5 ppm / 15 ppm*	5 ppm / 15 ppm*
Length	1185 mm	2344 mm	3210 mm	2440 mm
Width	765 mm	1100 mm	1400 mm	1100 mm
Height	1715 mm	1855 mm	1855 mm	2364 mm
Dry weight	510 kg	650 kg	950 kg	1000 kg
Wet weight	800 kg	1950 kg	2700 kg	2200 kg
Power consumption	3 kW	3 kW	3 kW	6 kW

* Depending on specification

WÄRTSILÄ® is a registered trademark. Copyright © 2015 Wärtsilä Corporation. Specifications are subject to change without prior notice.

sales.ows@wartsila.com


WÄRTSILÄ

Oily water separator

OWS-15 series

PRODUCT LEAFLET



The Wärtsilä oily water separator combines decades of experience and innovative engineering to ensure the reliable and cost-effective treatment of oily water to the latest quality standards. Fully compliant with the latest legislation, this separator produces uninterrupted discharge below 5ppm. The small footprint makes the unit easy to install and the automatic operation ensures that man-hours are kept to a minimum.



The Wärtsilä OWS-15 series is an economical and easy to operate solution to treat ship's bilge water in compliance to MEPC.107(49).

The system comprises 3 stages - a hydrophobic high viscosity removal system, an oleophilic coalescing filter element and a high adsorption media which adsorbs more than 60% of its weight in oil contaminants.

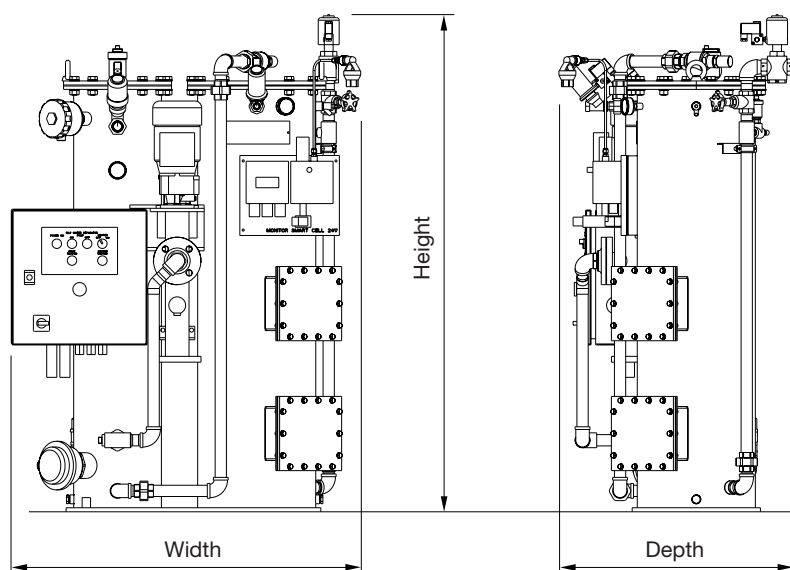
Fitted with a 15ppm oil content monitor, the OWS-15 series guarantees that the treated water is safe to discharge overboard.

The unit does not require backwashing or the use of chemicals, lowering the running costs and maximising efficiency.

SYSTEM BENEFITS

- No backwashing or cleaning cycle required.
- Easy to operate.
- Economical to run.
- Treats bilge water to 5ppm oil content or lower without the need for additional emulsion breaking equipment.
- Our separators are approved by BV to IMO MEPC.107(49) and the Marine Equipment Directive 96/98/EC.

Fig.1 Detailed elevation drawings



TECHNICAL SPECIFICATION

- Operating temperature
 - Minimum: 10°C
 - Maximum: 55°C
- Operating pressure
 - Normal: 1.38 bar
 - Maximum: 3.45 bar
- Air supply
 - Required pressure: 5-7 bar
- Pump performance
 - Maximum suction: 6 meters
 - Maximum discharge: 30 meters
- IMO tested parameters
 - Maximum oil flow: 100%
 - Maximum oil density: 0.989 s.g. @ 15°C
 - Maximum oil viscosity: RMG 35
 - Maximum emulsions: 3000 ppm

WEIGHTS & DIMENSIONS

Model No.	Capacity (m³/hr)	Dimensions (mm)			Weight (kg)	
		Width (inc. maint)	Depth (inc. maint)	Height (inc. maint)	Dry	Wet
OWS-05-15-LITE	0.5	1031 (1655)	672 (1080)	1474 (1700)	170	270
OWS-05-15	0.5	1031 (1655)	672 (1080)	1474 (1700)	250	350
OWS-10-15	1	1370 (2075)	861 (1300)	1474 (1750)	540	990
OWS-20-15	2	1370 (2075)	861 (1300)	1474 (1750)	540	990
OWS-30-15	3	1519 (2300)	985 (1560)	1547 (1750)	700	1430
OWS-50-15	5	1675 (2452)	1060 (1715)	1547 (2000)	800	1680

PROCESS DESCRIPTION

A slow-running positive displacement pump feeds bilge water into the first stage oil removal system. An oleophilic coalescing matrix causes free oils to consolidate and float to the surface, where it is then discharged into a waste oil tank.

In the second stage, free oils are passed through a 20 micron coalescing cartridge filter system, further refining the water, and leaving only emulsified oils, grease and low soluble organic compounds.

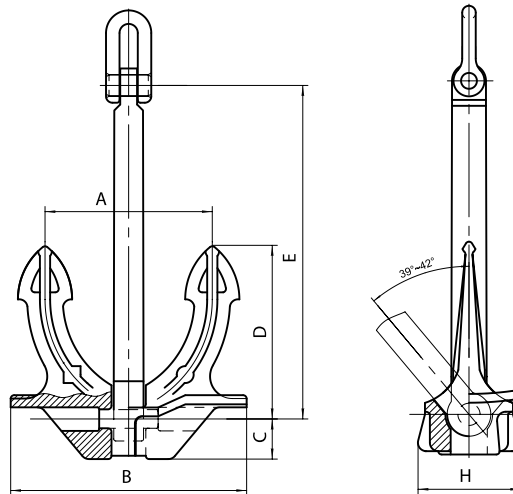
The final stage passes the water through a high adsorption media especially developed to adsorb the remaining contaminants efficiently. The unique characteristics of the third stage media mean that it is four times as effective as granular activated carbon. Both hydrophobic and oleophilic, the properties of the media ensure that the discharge is below 5ppm.

AFTERSALES, SERVICE & SUPPORT

Wärtsilä supports its customers throughout the lifecycle of their installations by optimising efficiency and performance. We offer expertise, proximity and responsiveness for all our customers in the most environmentally sound way.

We deliver aftersales support through our network of service centres in more than 70 countries worldwide and provide original spare parts for all of our waste, oil and fresh water management systems, ensuring prompt service and delivery to minimise downtime.

STOCKLESS ANCHOR TYPE "HALL" ANCLA TIPO "HALL"



APPROX. WEIGHTS AND DIMENSIONS / PESOS Y MEDIDAS APROXIMADAS

	mm					
Nominal Weight kg.	A	B	C	D	E	H
100	378	540	91	395	750	230
125	405	580	97	425	810	248
150	432	612	104	452	855	264
180	459	650	111	480	910	280
240	510	720	122	530	1010	310
280	534	760	130	560	1060	325
300	540	770	131	570	1080	331
320	560	790	132	580	1100	338
360	580	820	139	610	1150	353
420	610	860	146	640	1200	370
480	640	900	153	670	1260	387
520	652	920	158	680	1295	400
570	670	950	162	700	1330	408
660	710	1000	170	740	1440	430
780	750	1060	180	780	1480	456
850	770	1090	185	800	1530	468
900	780	1110	189	820	1550	477
1020	820	1160	197	860	1620	500
1140	850	1200	204	890	1680	520
1290	880	1250	212	920	1750	540
1440	920	1300	221	960	1820	560
1590	950	1340	228	990	1880	580
1740	980	1380	235	1020	1930	600
1920	1010	1430	243	1060	2000	620
2100	1040	1470	250	1090	2060	640
2280	1070	1510	257	1120	2110	650
2460	1100	1550	264	1150	2170	670
2640	1120	1590	270	1180	2230	690
2850	1150	1630	277	1210	2280	700
3060	1180	1670	284	1240	2340	720
3300	1210	1710	291	1270	2390	740

	mm					
Nominal Weight kg.	A	B	C	D	E	H
3540	1240	1750	298	1290	2450	750
3780	1260	1790	304	1320	2510	770
4050	1290	1830	311	1350	2560	790
4320	1320	1870	318	1380	2620	800
4590	1350	1910	325	1410	2670	820
4890	1380	1950	332	1440	2730	840
5250	1410	2000	340	1480	2800	860
5610	1440	2040	347	1510	2860	880
6000	1480	2090	355	1540	2930	900
6450	1510	2140	364	1580	3000	920
6900	1550	2190	372	1620	3070	940
7350	1580	2240	380	1650	3140	960
7800	1610	2280	388	1680	3190	980
8300	1650	2330	396	1720	3260	1000
8700	1670	2370	403	1750	3320	1020
9300	1710	2420	411	1790	3390	1040
9900	1740	2470	420	1820	3460	1060
10500	1780	2520	428	1860	3530	1080
11100	1820	2570	437	1900	3600	1100
11700	1840	2610	444	1930	3650	1120
12300	1870	2650	450	1960	3710	1140
12900	1900	2690	457	1990	3770	1160
13500	1940	2740	466	2020	3840	1180
14100	1960	2780	473	2050	3890	1200
14700	1990	2820	479	2080	3950	1210
15400	2020	2860	486	2110	4000	1230
16100	2050	2900	493	2140	4060	1250
16900	2080	2950	500	2180	4130	1270
17800	2120	3000	510	2210	4200	1290
18800	2160	3060	520	2260	4280	1320
20000	2200	3120	530	2300	4370	1340

Accommodation ladder plant for Passenger Ship/Yacht

under deck stowage system with automatic sea-lashing device

**Description:**

COMPLETE ACCOMMODATION LADDER PLANT
Manufactured from seawater resistant aluminium
With self adjusting steps and teak covered handrail

Accommodation ladder	16,32 x 0,90 m
Vertical movement	horizontal to 40° downwards
Weight	6200 kg
According to our drawing	16.1527-203.00.00.0
Classification	GL

Customer/Operator:

Aker MTW Werft GmbH, Wismar

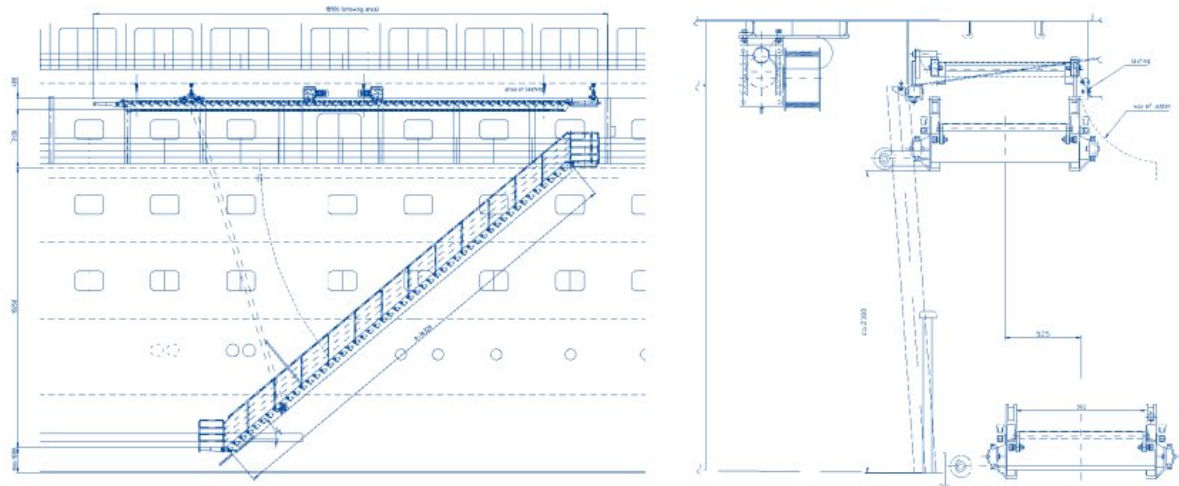
Hull No.	Delivery	Ship's Name
003	2001	AIDAvita
004	2002	AIDAaura

Fr. Fassmer GmbH & Co. KG

Industriestraße 2
D-27804 Berne/Motzen
Phone +49 44 06 942-0
Fax +49 44 06 942-100
www.fassmer.de

Accommodation ladder plant for Passenger Ship/Yacht

under deck stowage system with automatic sea-lashing device



Technical Description

The complete system is stowed under deck automatically with a sea-lashing device. A totally safe twist lock system to connect the swivel platform to the deck is included. The accommodation ladder is suspended from two davits. The electrical driven davits telescope simultaneously. Both electrical winches lower the ladder simultaneously to the deck. One side lowers the ladder to the swivel platform and the other positions the accommodation ladder ready for use on the pier. Generally the steps are mounted in noiseless bearings.

Si la cabina viaja en sentido descendente con carga, la fuerza de la gravedad hace que el motor, en lugar de consumir energía, la genere, igual que una dinamo.

Lo mismo ocurre cuando la cabina viaja en sentido ascendente vacía o con poca carga. El contrapeso baja por efecto de la gravedad y el motor genera energía.

El sistema regenerativo del ascensor **EVOLUX**, logra que la energía generada por el propio ascensor sea aprovechada y la almacena en los acumuladores que hacen que funcione el ascensor.

PREMIO

MEJOR PROYECTO 2016 DE ENERGÍAS RENOVABLES.

Enor recibe este galardón del Ilustrísimo Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Galicia.

ASCENSOR ENOR EVOLUX



El ascensor Evolux puede conectarse a paneles solares fotovoltaicos para su funcionamiento, por lo que no necesita enchufarse a la red eléctrica, suponiendo un 100% de ahorro en la factura de la luz.

EVOLUX

NO REQUIERE INSTALACIÓN TRIFÁSICA, LO QUE SUPONE UN IMPORTANTE AHORRO CONSTRUCTIVO

EJEMPLO DE AHORRO

IMPORTE POR CONSUMO

CAPACIDAD	HIDRÁULICO		TRACCIÓN 2 VELOCIDADES		EVOLUX	
	Consumo en kWh/año	Consumo en euros/año	Consumo en kWh/año	Consumo en euros/año	Consumo en kWh/año	Consumo en euros/año
6	1.793	317	770	136	524	93
8	2.400	424	924	163	583	103

Valores meramente orientativos, estos pueden variar en función de las condiciones de la instalación. Valores según la categoría de uso 2 de acuerdo con la norma VDI4707 (tiempo de viaje medio de 30 minutos al día). Velocidad del EVOLUX: variable entre 0,63 y 1 m/s. Velocidad nominal del ascensor de tracción de dos velocidades: 1 m/s. Velocidad nominal del ascensor hidráulico: 0,63 m/s.

IMPORTE POR POTENCIA CONTRATADA

CAPACIDAD	HIDRÁULICO		TRACCIÓN 2 VELOCIDADES		EVOLUX	
	Potencia contratada en kW	Importe euros/año	Potencia contratada en kW	Importe euros/año	Potencia contratada en kW	Importe euros/año
6	16,0	811	9,2	466	0,5	25
8	17,0	862	9,2	466	0,5	25

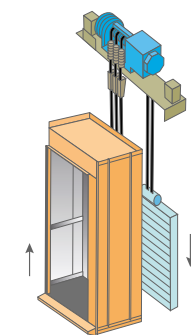
IMPORTE TOTAL POR CONSUMO + POTENCIA CONTRATADA

CAPACIDAD	HIDRÁULICO	TRACCIÓN 2 VELOCIDADES	EVOLUX
	Importe euros/año Consumo+Potencia	Importe euros/año Consumo+Potencia	Importe euros/año Consumo+Potencia
6	1.128	602	118
8	1.286	629	128

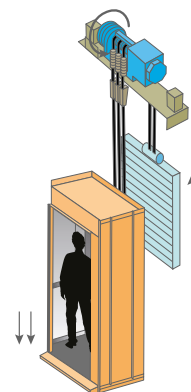
AHORRO TOTAL POTENCIA CONTRATADA Y CONSUMO EVOLUX

CAPACIDAD	Respecto a un hidráulico		Respecto a uno de tracción 2 velocidades	
6	1.010€	89%	484€	80%
8	1.158€	90%	501€	80%

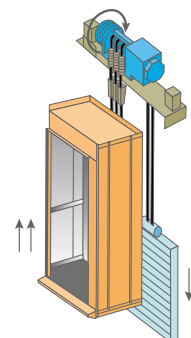
Cálculo con los siguientes datos:
 • Precio por kW contratado: 3,35 €/mes, más impuestos.
 • Precio por kW consumido: 0,14 €, más impuestos.
 Los importes y el ahorro total pueden variar en función de las tarifas eléctricas aplicadas.



En un ascensor la cabina está unida a un contrapeso a través de una polea. Cuando el contrapeso baja, la cabina sube, y cuando el contrapeso sube, la cabina baja.



Si la cabina baja cargada, ésta pesa más que el contrapeso, por ello baja por efecto de la gravedad, de forma controlada, generando energía.



Esto mismo ocurre cuando la cabina sube vacía; en este caso el contrapeso es más pesado y también baja por efecto de la gravedad, generando energía.



EQUIPO DE TRACCIÓN

- Máquina sellada sin engranajes y motor de imanes permanentes.
- Tracción mediante cintas planas.
- Configuración 2:1 con suspensión inferior o en cantilever.

CONTROL

- Frecuencia variable de lazo cerrado.

CUADRO DE MANIOBRA

- Modular MCS 220, por microprocesadores, combinado con un sistema avanzado de frecuencia y voltaje variables.
- Situado en la columna de la puerta del piso superior. Opcionalmente se puede instalar a una distancia de hasta 20 metros.
- Comunicación bidireccional y sistema de intervención remota.

MANIOBRA

- Automática simple o colectiva en bajada.
- Agrupamiento dúplex.

TIPOS DE PUERTAS

- Automáticas telescópicas o de apertura central.
- Están equipadas con sistema de control digital de velocidad variable.

EMBARQUES Y RECORRIDO

- Un embarque o doble embarque (90º o 180º).
- Recorrido:

Nº Pax	Recorrido	Nº Paradas
≤ 6	≤ 27	≤ 10
7	≤ 24	≤ 9
8	≤ 21	≤ 8

VELOCIDAD

- Variable entre 0,63 m/s y 1,00 m/s.

CAPACIDAD DE CARGA

- De 3 a 8 personas (225 a 630 kg).

ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA

Tensión de red	220V 50Hz monofásica
Intensidad absorbida	1,5A
Potencia	0,5kW



Adicionalmente y para hacer aún más cómodo su viaje, el ascensor EVOLUX puede ir equipado **de manera opcional** con la Pantalla Digital, dispositivo de **comunicación** con el **exterior** por **videoconferencia** que monitoriza el estado del ascensor las 24 horas al día.

DIMENSIONES DE HUECO

CAPACIDAD			4D	5D	6S	6D	7D	8D
CARGA (kgs)			320	400	450	480	525	630
DIMENSIONES CABINA (mm)	CW		840	840	1000	1000	1000	1100
	CD		1050	1200	1250	1300	1350	1400
DIMENSIONES PUERTAS (mm)	Telescópica (TLD)		700	700	800/900	800/900	800/900	800/900
	Ap. Central (CLD)				800	800/900	800/900	800/900
DIMENSIONES HUECO (mm)	HW		1350	1350	1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900)	1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1950 (CLD900)	1550 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 1950 (CLD900)	1600 (TLD800) 1800 (CLD800) 1650 (TLD900) 2000 (CLD900)
	WTW	1 embarque	1300	1450	1500	1550 (TLD800) 1550 (TLD 900) 1550 (CLD 800 y 900)	1600	1650
		2 embarques	1400	1550	1600	1650	1700	1750

Dimensiones de puertas montadas sobre piso.
Foso: 1.000 a 1,0 m/s.
Para otras dimensiones de hueco, consúltenos.

CW= Ancho de cabina
CD= Profundidad de cabina
HW= Ancho de hueco
WTW= Profundidad de hueco

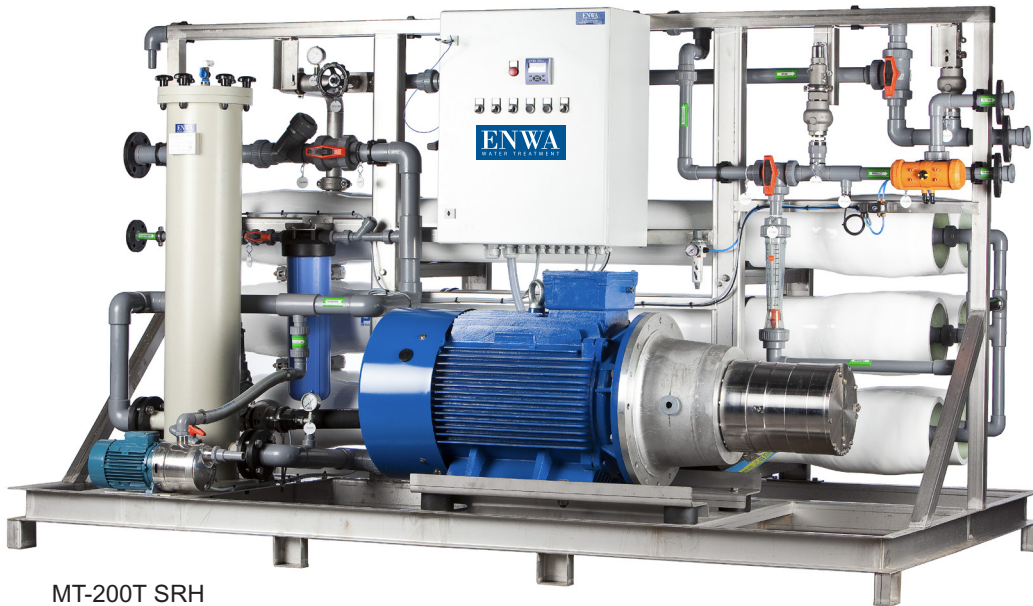
Altura de puertas	Altura de cabina	Recorrido seguridad a (K)	Disponibilidad
2000	2100	3300	Opcional
2000	2200	3400	Estándar
2100	2300	3500	Opcional

Dimensiones de cuadro de maniobra: 400 mm de ancho x 203 mm de fondo x 2100 mm de alto.
La empresa se reserva el derecho a modificar sin previo aviso sus modelos, así como sus características, equipos y accesorios, siempre que ello signifique una mejora en la instalación.



WATERMAKERS

MT-75, 100, 150 and 200 m³/24h



MT-200T SRH

Watermaker produces drinking water from sea water based upon the reverse osmosis membrane technique.

The capacities are 75, 100, 150 or 200 m³/24h from seawater (25° C).

The quality of the drinking water is continuously monitored by a salinity meter.

The design is ideal for simple service and maintenance.

The unit is suitable for:

- Drilling platforms
- Offshore rigs and accommodation platforms
- Commercial vessels
- Military vessels
- Resorts, hotels and communities
- Golf courses
- Livestock carrier



	MT-75 T	MT-100 T	MT-150 T	MT-200 T
Capacity (m ³ /day)	75	100	150	200
Installed power HP (kW) (50 / 60Hz)	30	30	45	45
Installed power feed pump (kW) (50 / 60Hz)	2.2 - 4	2.2 - 4	2.2 - 4	2.2 - 4
Raw water flow (m ³ /h)	10.2	10.2	20.8	20.8
Membranes (8")	4 pcs	6 pcs	8 pcs	12 pcs
Width (mm)	3267	3269	3206	3206
Depth (mm)	1080	1080	1730	1730
Height (mm)	1696	1696	1786	1786
Weight dry (kg)	700	900	1200	1550
Weight (operational) wet (kg)	875	1156	1540	2056

The capacity is calculated with a sea water temperature at 25°C and a TDS at 35 500ppm. The treated and produced water flow will decrease with lower temperature.

Standard

- High pressure plunger pump
- Continuous control of the outgoing water quality, via a salinity meter and a dumping valve
- Automatic flush after each stop, via a carbon cartridge filter (neutralizing the chlorine)
- Low pressure switch before the high pressure pump
- Feed water particle filter (5 micron)
- Feed water pressure gauge
- Safety valves
- Flow meter for production flow
- All electrical equipment minimum IP54
- Low pressure switch on the suction side of the high pressure pump
- Level switch in water tank can be connected for start and stop

Optional Equipment

- CIP cleaning tank
- Remote control
- Re-hardening filter in stainless steel, to increase pH
- UV sterilizer
- Dosing equipment for chlorine, anti-scalant or chlorine removal
- Prefiltration sand filters
- Spare parts and consumables package
- Portable conductivity meter and pH meter



Sandfilter SA-1000
Thermoplastic coated vessel
Automatic back flushing



Re-hardening filter NM-310 RO
Stainless steel, AISI 316L
Manual back flushing

Enwa Sweden

Importgatan 21
SE-422 46 Hisingen Backa
Sweden
Phone: +46 31 742 92 50
E-mail: info@enwa.se

Enwa Norway

Nordre Kullerød 9, Postboks 1241
3205 Sandefjord
Norway
Phone: +47 33 48 80 60
E-mail: post@enwa.com

Enwa UK

Unit A Scotlands Industrial Estate, Coalville
Leicestershire, LE67 3JJ
United Kingdom
Phone: +44 1530 830 354
E-mail: sales@enwa.co.uk

HAMANN AG

High Quality Sewage Treatment Plants

certified according to
MEPC.227(64)

HL-CONT Plus

- ▶ Compact and light in weight
- ▶ Neither membranes nor filters
- ▶ Modular design
- ▶ Made in Germany
- ▶ Proven technology
- ▶ Hardly any maintenance
- ▶ Clean hands for operators
- ▶ Also available in NAVY execution



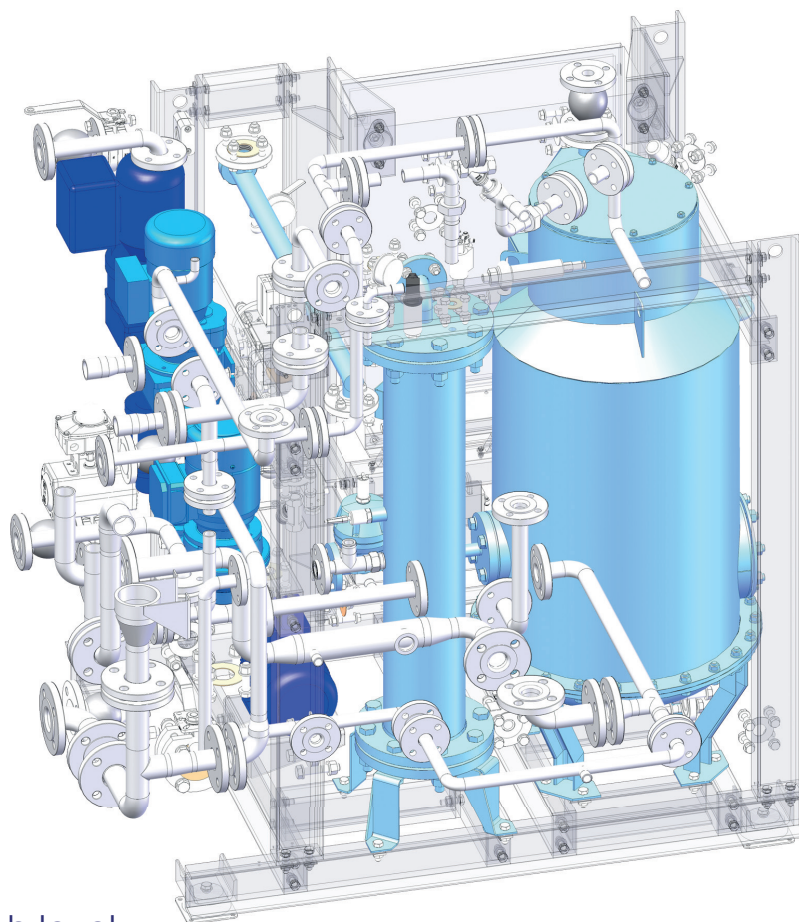
Supported by:



on the basis of a decision
by the German Bundestag

The process / technical description of the **HL-CONT Plus** is based on physical treatment.

- ▶ Maceration of sewage
- ▶ Dissolved air flotation for the reduction of TSS, BOD and COD
- ▶ UV disinfection



All sewage needs to be collected in one ship's holding tank. Depending on the calculated load and number of persons the tank must have a sufficient size as the working volume between high level and stop plant is one important issue for the **HL-CONT Plus**.

HL-CONT	Capacity [litre/day]	Persons onboard calculated with 135 l / day	Persons onboard calculated with 180 l / day	Size WxLxH [m]	Empty Weight [kg]	Electrical Consumption	Vent Connection
0125	3.000	22	16	0.8 x 0.9 x 0.9	165	2.1 kW	1/2"
025	6.000	44	33	0.9 x 1.2 x 0.9	315	2.3 kW	1"
05	12.000	88	66	1.0 x 1.3 x 1.4	680	2.6 kW	1"
10	24.000	177	133	1.2 x 1.6 x 1.8	820	3.5 kW	1"
20	48.000	355	266	1.6 x 2.1 x 2.1	1450	5.2 kW	1"
40	96.000	711	533	2.3 x 2.5 x 2.3	1900	8.5 kW	1"
80	192.000	1422	1066	2.1 x 4.7 x 2.7	4700	15.0 kW	2"

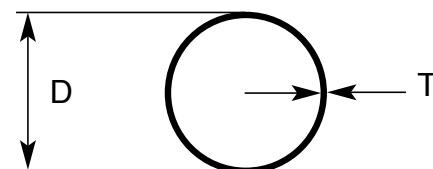
www.HAMANNAG.com

HAMANN  **AG**

Bei der Lehmkuhle 4
D-21279 Hollenstedt / Germany
Phone: +49 / 4165 / 22 11- 0
Fax: +49 / 4165 / 22 11 25
E-mail: sales@hamannag.com



Tubos soldados según ISO-1127



Diámetro nominal		Diámetro ext. mm	Espesor mm												
DN	Pulg.		0,80	1	1,2	1,6	2	2,5	2,6	3	3,2	3,6	4	5	6
			Peso en kg/m												
10	3/8"	17,2	0,329	0,406	0,481	0,625	0,761	0,920	0,951	1,067					
15	1/2"	21,3	0,411	0,508	0,604	0,789	0,967	1,177	1,217	1,375					
20	3/4"	26,9	0,523	0,649	0,772	1,014	1,247	1,527	1,582	1,795					
25	1"	33,7	0,659	0,819	0,977	1,286	1,588	1,953	2,025	2,306	2,444				
32	1 1/4"	42,4		1,037	1,238	1,536	2,023	2,498	2,591	2,960	3,141	3,498	3,846		
40	1 1/2"	48,3		1,184	1,415	1,758	2,319	2,867	2,975	3,403	3,614	4,029	4,437		
50	2"	60,3		1,485	1,776	2,209	2,920	3,618	3,757	4,304	4,575	5,111	5,639	6,924	
65	2 1/2"	76,1		1,881	2,251	2,802	3,711	4,607	4,785	5,491	5,841	6,535	7,222	8,902	
80	3"	88,9			2,635	3,283	3,498	5,409	5,618	6,453	6,867	7,689	8,504	10,504	
90	3 1/2"	101,6				3,760	4,006	4,988	6,445	7,407	7,885	8,834	9,776	12,094	
100	4"	114,3				4,237	4,515	5,624	7,272	8,361	8,902	9,979	11,048	13,684	16,271
125	5"	139,7				5,533	6,896	8,589	8,926	10,269	10,937	12,269	13,592	16,864	20,087
150	6"	168,3				6,679	8,328	10,379	10,788	12,417	13,229	14,847	16,456	20,445	24,384
200	8"	219,1					10,872	13,559	14,095	16,233	17,300	19,426	21,544	26,805	32,016
250	10"	273					13,572	16,933	17,604	20,282	21,619	24,285	26,943	33,554	40,114
300	12"	323,9					16,121	20,120	20,918	24,106	25,697	28,873	32,041	39,926	47,761
350	14"	355,6					17,708	22,104	22,982	26,487	28,237	31,731	35,216	43,895	52,524
400	16"	406,4					20,252	25,284	26,289	30,303	32,308	36,310	40,304	50,255	60,156
450	18"	457,2					22,759	28,462	29,594	34,000	36,320	40,82	45,320	56,612	67,784
500	20"	508					25,338	31,642	32,901	37,933	40,446	45,465	50,477	62,971	75,416
600	24"	609,6								45,565	48,586	54,623	60,635	75,691	90,679
700	28"	711,2											70,828	88,411	105,942
800	32"	812,8											81,004	101,136	121,206
900	36"	914,4											91,180	113,850	136,470
1000	40"	1016											101,335	126,597	151,733

Composición química: Ver página 8

Características mecánicas: Ver página 9

Calidad del material: AISI 304/304L, 316/316L, duplex

Acabados: Ver página 13

Tolerancias: Ver página 33

Normas de fabricación: EN 10217-7

EN 10296-2

Longitud de suministro: 6.000 mm.

Otros largos, espesores, calidades o características especiales bajo pedido especial (consultar).





UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo XIII

CUADERNO 13: PRESUPUESTO DEL BUQUE



GRADO EN INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020-2021

PROYECTO NÚMERO SIM_2021-TFG-29

TIPO DE BUQUE: Buque crucero de 360 Pasajeros.

CLASIFICACIÓN, COTA Y REGLAMENTOS DE APLICACIÓN: SOLAS, MARPOL, DNV-GL.

CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA: 360 pasajeros, en camarotes dobles con baño privado, con al menos el 80% de ellos exteriores.

VELOCIDAD Y AUTONOMÍA: 16 nudos, Autonomía de 6.000 mn.

SISTEMAS Y EQUIPOS DE CARGA / DESCARGA: Los propios de ese tipo de buque.

PROPULSIÓN: Diesel eléctrica / propulsores azimutales.

TRIPULACIÓN Y PASAJE: 90 tripulantes / 360 Pasajeros.

OTROS EQUIPOS E INSTALACIONES: Los habituales en este tipo de buques.

Ferrol, 10 Setiembre 2019

ALUMNO/A: **D^a** Lucía Barreiro Varela

ÍNDICE

1 RPA	2
2 Introducción	4
3 Cálculo costes de construcción	5
3.1 Casco	5
3.2 Equipos, armamento e instalaciones	7
3.3 Propulsión y generación de energía.....	10
3.4 Servicios varios.....	12
4 Coste del buque.....	14
5 ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DEL BUQUE	15
Anexo XIII.I: Hoja de cálculo	16

2 INTRODUCCIÓN

En el presente cuaderno se lleva a cabo un estudio del buque proyecto desde el punto de vista económico para conocer el coste derivado de su fabricación a partir de toda la información recolectada en los cuadernos previos. Para poder desarrollar este estudio se seguirán las fórmulas establecidas en el tema 4 del libro *Proyecto de buques y artefactos* del Profesor Fernando Junco Ocampo.

A continuación, se muestra una tabla a modo de resumen con las principales características del buque:

Tabla 1: Resumen parámetros buque

Medida	Valor	Unidad
Lpp	145	m
B	24	m
T	6	m
D	8,8	m
Δ	14557	t
Cb	0,652	
Cp	0,686	
Cm	0,95	
Cwp	0,812	
v	16	nudos
Potencia instalada	4x3000	kW

Para llevar a cabo el estudio de los costes de construcción se dividirán en las siguientes categorías: casco, armamento, propulsión y servicios varios. Dentro de cada categoría será necesario conocer tanto los costes materiales como de la mano de obra con la finalidad de obtener una estimación del valor monetario del buque.

3 CÁLCULO COSTES DE CONSTRUCCIÓN

3.1 Casco

En primer lugar, es necesario conocer el coste del acero que constituirá el casco del buque. El peso del acero ya se calculó previamente en el Cuaderno 2 donde se obtuvo una estimación de 6358.6 toneladas de acero. El costo unitario de acero laminado de calidad A puede estimarse en 450€/t para chapas y 480€/t para perfiles. Además, como primera estimación, el acero del casco se multiplicará por un factor de 1,12 para incluir aquel acero sobrante del proceso constructivo debido a las ineficiencias del propio proceso.

Como el libro nos proporciona dos precios del acero en función de si se trata de chapa de acero o perfiles se supondrá que el 75% del acero empleado en el buque son chapas frente al 25% de perfiles.

Con todo esto obtenemos un coste de acero igual a:

$$C_{ac} = (6358,6 * 0,75 * 450 + 6358,6 * 0,25 * 480) * 1,12 = 3.258.146,64\text{€}$$

El peso total del conjunto de los polines del buque puede estimarse mediante la siguiente fórmula:

$$P_{po} = 0,0033 * BHP + 0,0034 * Kw * \frac{15000}{rpm} + 0,14 * N_{mc} * T_{mc}^{\frac{2}{3}} + 0,0024 * N_m * d^{1.5} + 3,7 * 10 * (-6) * L * H * (V_s + 2)^2$$

Donde:

BHP es la potencia propulsora, 8972,2 CV

Kw es la potencia instalada de auxiliares en kw, 2516,18 KW

Rpm son las revoluciones por minuto de los auxiliares, 750rpm

N_{mc} es el número de maquinillas de carga, 4

T_{mc} es la tracción de las maquinillas de amarre, 21,25T

N_m número de molinetes, 2

d es el diámetro de la cadena del ancla, 70mm

L eslora, 150 m

H calado de escantillonado, 6,5 m

V_s , velocidad de servicio, 16 kn

Además, consideraremos un factor del orden de 1,2 para tener en cuenta recortes y márgenes. Con todo esto obtenemos:

$$P_{po} = 212,62 \text{ t}$$
$$C_{ppo} = 122.470 \text{ €}$$

Para calcular el peso del acero total también consideraremos 50€ por cada tonelada de acero estructural como concepto de materiales auxiliares de construcción del casco.

En la partida de costes del casco, a parte del acero necesario para su construcción también se deben incluir los costes derivados de la preparación y pintado de las superficies. Para su cálculo se tendrá en cuenta el área de obra viva que se corresponde con la superficie mojada (3938,93 m²), el área de la obra muerta cuyo valor se tomará como 2 veces el área lateral y frontal proyectada (7370 m²) y la superficie interior que será la suma de las anteriores (11308,93 m²). El costo unitario es de 2€/m² para imprimación y el coste del granallado se estima en 8€/m² para las superficies externas y de 15€/m² para las internas. Con estos valores el coste material total de la preparación de superficies es de 305341,11 €. Para el coste de la pintura de la obra viva se considerará un costo unitario de 0,013€/m²/micra de espesor. Y tomaremos un espesor estándar de 350 μ, con lo que resulta un costo de 4,55€/m². Para la pintura de la obra muerta se considerará un coste unitario de 0,012€/m²/micra de

espesor y un espesor de 185 μ . El precio unitario de la pintura interior del casco es 0,011€/m²/micra de espesor. El libro también presenta una fórmula para calcular el coste de la pintura de tuberías, que tomaremos como:

$$C_{pt} = 0.18 * (0.057 * BHP + 0.18 + L) * 1.8$$

Con todas estas consideraciones los resultados obtenidos son:

$$\begin{aligned} C_{pobraviva} &= 17.922 \text{ €} \\ C_{pobramuerta} &= 16.361 \text{ €} \\ C_{pinterior} &= 23.014 \text{ €} \\ C_{pt} &= 174 \text{ €} \end{aligned}$$

Finalmente, solo queda por añadir el costo de galvanizado y cementado que puede tomarse como el 7,5% del costo inicial de pintado del casco con un resultado final de 4297 € y el costo de la protección catódica que se calcula mediante:

$$C_{pc} = 1.55 * S_m = 6.105 \text{ €}$$

Una vez conocido el coste total del material necesario para el proceso de construcción del casco del buque proyecto es necesarios tener en cuenta la mano de obra implicada en el proceso. El libro mencionado previamente nos proporciona diferentes fórmulas para conocer el gasto de mano de obra ligada a la construcción del casco. Las horas de elaboración, prefabricación y montaje de casco son difíciles de estimar por lo que el libro nos proporciona una fórmula basada en diferentes aspectos que pueden tener factor decisivo en las horas de construcción como por ejemplo la complejidad de la forma, la existencia o no del bulbo o el empleo de aceros especiales. La fórmula se muestra a continuación:

$$H_c = K_{ba} * P_{ac} * (1 + K_f * (1 - cb)) * (1 + K_b) * (1 + K_e * C_e) * (1 + K_c * (N_c - 1))$$

Siendo,

K_{ba} el índice de mano de obra de casco en h/t que por lo general adquiere un valor entre 20 y 100. Del que se tomará un valor medio de 60h/t.

K_f índice del coeficiente de forma con una valor genérico de 0,3

cb el coeficiente de bloque, $cb=0,652$

K_b el índice de bulbo que tomará un valor de 0,04 por la existencia de bulbo

K_e índice de complejidad por acero especial que tiene una valor nulo al no proyectar el uso de acero de estas características al igual que C_e que es el coeficiente de peso del acero especial.

K_c coeficiente de número de cubiertas que puede ser del orden de 0,05

N_c el número de cubiertas fuera de Cámara de Máquinas, 10.

Las horas correspondientes a piezas fundidas y forjadas y a aluminio pueden estimarse con la fórmula:

$$H_{pf} = 25 + 30 * L^{\frac{1}{3}} * H * K_1$$

Donde k_1 será igual a 2 debido a la existencia de dos hélices por lo que obtenemos un total de 2097h.

Las horas relativas a la preparación de superficies pueden estimarse con un factor de 0,02 h/m² para lo cual habrá que considerar tanto la superficie exterior de obra viva y obra muestra,

como la superficie interior con lo que resulta un total de 452 h. Finalmente, para calcular el número de horas correspondientes a la pintura y al control de corrosión aplicaremos la fórmula:

$$H_p = 0,25 * S_{om} + (1 + 0,3 * N_{om}) + 0,35 * \frac{S_{ov} * N_{ov}}{4} + 0,40 * S_i * N_i$$

En que S_{om} y S_{ov} son las superficies de obra muerta y viva, respectivamente y S_i es el área interior. N_{om} y N_{ov} hacer referencia al número de manos aplicadas que tomaremos como 3 para la obra viva y 2 para el resto de superficies. Con todo, el número de horas asciende a 11925 h.

Para el cálculo de los costes asociados a la mano de obra se considerará un precio de 40€/h. El valor total del coste que suponen las horas de mano de obra se obtendrá multiplicando el resultado por el precio de mano de obra en el astillero.

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos. En los Anexos se podrán encontrar las hojas de cálculo.

Tabla 2: Resumen costes casco

Total acero casco	3.258.146,64 €
Total polines	122.470,25 €
Total material auxiliar	317.930,00 €
Total preparación de superficies	309.638,40 €
Total pintura	57.471,65 €
Total protección catódica	6.105,34 €
TOTAL MATERIALES CASCO	4.071.762,28 €
Total mano de obra	649864,9 h
Coste mano de obra	40(€/h)
TOTAL MANO DE OBRA CASCO	25.994.597,21 €
TOTAL CASCO	30.066.359,49 €

3.2 Equipos, armamento e instalaciones

Dentro de este apartado calcularemos el costo de los diferentes equipos auxiliares calculados a lo largo del Cuaderno 12.

- Equipos de fondeo, amarre y remolque

Para conocer el coste total de las anclas se considera un ratio de 2500€/t. El buque dispone de dos anclas de 6450kg cada una. Por otro lado, el coste de las cadenas, cables y estachas puede estimarse mediante la siguiente expresión:

$$C_{cce} = 0,15 * 0,305 * d^2 * L_c$$

Donde d es el diámetro y L la longitud de cadenas. Estos parámetros se obtuvieron previamente en el Cuaderno 12 de donde se obtuvieron unos valores de 70mm y 605 m respectivamente. Para los accesorios de fondeo y amarre:

$$C_{aafa} = e^{3.1} * 6 * (L + B + D)^{0,815}$$

También se dispone de unas fórmulas el coste de los molinetes y cabestrantes que dependerán de diámetro y tracción del cabestrante:

$$C_m = 300 * d^{1.3}$$

$$C_{cb} = 2250 * T_{cb}^{1.6}$$

El coste total de los equipos de amarre y fondeo adquiere un valor igual a 1.494.452€.

Al igual que se hizo para el caso, es necesario estimar el número de horas empleadas en la fabricación o instalación de los equipos de amarre y fondeo y el libro del Prof. Junco vuelve a ofrecer una expresión para llevarlo a cabo:

$$H_{far} = 27 * P_a^{0.4} + L * (1,75 * N_m + 1,6 * N_{ca}) = 1560 h$$

- Medios de salvamento

En este apartado se calculará el coste de los botes y balsas salvavidas, los dispositivos de lanzamientos y otros equipos varios. En primer lugar, se estima el coste de los botes salvavidas que dependerá del tipo y capacidad:

$$C_{bo} = k_{bo} * N_p^{\frac{2}{3}}$$

En el cuaderno 12 se calculó la existencia de 4 botes con capacidad para 85 personas cada uno de tipo cerrados ($k_{bo}=3000$). El coste de las balsas también dependerá de la capacidad establecida:

$$C_{ba} = k_{ba} * N_p^{\frac{1}{3}}$$

Donde k_{ba} es el coeficiente en función del tipo de balsa con un valor de 1200. Existen 8 balsas salvavidas con capacidad para 35 personas cada una. Además, el coste de cada bote de rescate puede estimarse en 6000€. El coste de los pescantes de botes puede estimarse mediante la siguiente fórmula:

$$C_{pb} = K_{pb} * N_p^{\frac{2}{3}}$$

Con $K_{pb} = 4000$ por tratarse de botes cerrados. Para los pescantes de balsas o botes de servicio puede estimarse un costo unitario de 8500€. Falta por añadir el coste de los aros, chalecos, señales, lanzacabos y elementos varios de salvamento que dependerá del número total de personas a bordo y tendrán un coste aproximado de:

$$C_v = 2500 + 30 * N$$

Tras la suma de todas las partidas se obtiene un coste total para los medios de salvamento de 626.201€.

Las horas correspondientes a los medios de salvamento pueden aproximarse como:

$$H_{ms} = 300 + 1,5 * N$$

Con la que obtenemos un volumen total de 7050h.

Habilitación y Alojamientos Su costo puede estimarse en función del área de habitación:
 $C_H = k_h * S_h$

k_h varía de 210 a 250 según el nivel de calidad, pudiendo llegar a 500€/m². Se tomará un valor intermedio de 400€/m² al tratar de un buque de pasaje. El área total de habitación se puede obtener de los planos generales del Cuaderno 7 (16153 m²). Las horas correspondientes pueden estimarse a partir de 16h/m² de alojamientos.

$$H_H = 258448 h$$

- Equipos de fonda y hotel

El costo total puede estimarse mediante la fórmula: $C_{co} = K_{co} * N$ con C_{co} 300 para buques de pasaje y N el número total de personas a bordo. El costo de las gambuzas se

estima mediante el volumen de la gambuza: $C = 1800 * V^{\frac{2}{3}}$ y para los equipos de lavandería se considerará 240€ por cada persona.

También se estiman las horas necesarias de mano de obra, para las cuales se empleará un ratio de 115h/persona a bordo. Con toda esta información se obtienen los siguientes resultados:

$$C_{FH} = 369335 \text{ €}$$

$$H_{FH} = 51750 \text{ h}$$

- Equipos de acondicionamiento en Alojamientos

Esta partida incluye fundamentalmente los equipos de calefacción y aire acondicionado que se considerarán con un coste de 60€/m² y la ventilación mecánica cuya expresión para calcular el coste total es el siguiente:

$$C_{vm} = 1055 * N^{0.215} + 1.2 * S_h^{0.25}$$

El coste total resulta de 973117€. Las horas de mano de obra se calculan con un ratio de 2h/m² de alojamiento (32306h)

- Equipos de Navegación y Comunicaciones

El libro contiene una tabla que incluye precios habituales de equipos de navegación (compás, piloto automático, radar...). Se supondrá un coste total de 150.000 € más un 8% en concepto de equipos auxiliares a la navegación.

El coste derivado de las comunicaciones externas incluye telegrafía, telefonía y sistema de comunicación por satélite. Se considerará un coste total de 120000€ a lo que se añade 21000€ en concepto de telegrafía fija de botes. Las comunicaciones internas se estiman en 36000€ más una cantidad adicional definida por la fórmula:

$$C_{cip} = 480 * N_p^{0.85}$$

Las horas dedicadas a esta partida pueden estimarse como:

$$H_{nc} = 330 * (N_c - 6)$$

Donde N_c es el número de equipos que tomaremos como 10.

- Medios C.I. Convencionales

El coste de medios contraincendios en Cámara de Máquinas puede estimarse mediante la fórmula:

$$C_{im} = 8,4 * L_m * b * D_m$$

Donde L_m y D_m son la eslora y el puntal de la cámara de máquinas, es decir 24 y 4,7 respectivamente. Las horas correspondientes se estiman a razón de 5.5h/m de eslora de cámara de máquinas.

Instalación eléctrica Su costo puede estimarse mediante la ecuación:

$$C = 480 * K_w^{0.77}$$

Donde K_w es la potencia instalada en kW que es igual a 12000 kW lo que supone un total de 664065 € y la mano de obra requerida supone un total de 136612 h calculadas a partir de la expresión:

$$H_{ce} = 4 * S_H + 6 * K_w$$

- Tuberías

Su coste total se estima a partir de las dimensiones de cámara de máquinas y otros parámetros como se expresa a continuación:

$$C_t = 2705 * (0.015 * L_m * B * D_m + 018L) + K_t * BHP + 1.5 * (3 * L_m * B * D_m + 4 * s_h)$$

Donde K_t tiene un valor de 5,7 por quemar combustibles ligeros con lo que se obtiene un coste total de 552531 €. Las horas dedicadas a la partida de tuberías pueden estimarse a partir de la potencia propulsora (34543 h).

$$H_{tb} = 11 * BHP * 0,35$$

A continuación, se muestra un resumen de los resultados obtenidos para equipos, armamento e instalaciones. En los Anexos se podrán encontrar las hojas de cálculo.

Tabla 3: Costes Armamento

Total equipos amarre y fondeo	1.494.452,36 €
Total medios de salvamento	626.201,35 €
Total habilitación	6.461.200,00 €
Total fonda y hotel	369.335,11 €
Total HVAC	973.117,20 €
Total navegación y comunicaciones	425.391,67 €
Total C.I. Cámara de Máquinas	45.480,96 €
Total instalación eléctrica	664.065,31 €
Total tuberías	552.531,14 €
TOTAL MATERIALES ARMAMENTO	11.611.775,11 €
Total mano de obra	523853 h
Coste mano de obra	40 (€/h)
TOTAL MANO DE ARMAMENTO	20.954.127,91 €
TOTAL ARMAMENTO	32.565.903,02 €

3.3 Propulsión y generación de energía

En los costes de propulsión tendremos que diferenciar entre el coste de los generadores diésel principales, el coste de los motores propulsores y la maquinaria auxiliar de propulsión. En primer lugar, el coste de cada grupo generador, tanto los principales, como el grupo generador de emergencia mediante la fórmula:

$$C = 252 * DIA^{2.2} * \frac{N_c^{0.8}}{RPM} + 24000 * \left(\frac{Kwg}{RPM}\right)^{\frac{2}{3}}$$

En la cual DIA es el diámetro de los cilindros y N_c su número. Kwg es la potencia del generador en kW. Las características de los grupos principales son:

$$\begin{aligned} DIA &= 320 \text{ mm} \\ RPM &= 750 \text{ prm} \\ N_c &= 6 \\ Kwg &= 3000 \text{ kW} \\ N.^o \text{ generadores} &= 4 \end{aligned}$$

En cambio, el generador de emergencia es de menos tamaño y capacidad:

$$\begin{aligned} DIA &= 160 \text{ mm} \\ RPM &= 1000 \text{ prm} \end{aligned}$$

$$N_c = 9$$

$$Kwg = 855 kW$$

Con esta información se puede obtener una estimación de los 5 grupos generadores existentes a bordo que resulta de 2.195.921€. El cálculo de la mano de obra se lleva a cabo siguiendo la misma filosofía seguida hasta el momento. Para los grupos generadores la mano de obra se puede estimar mediante la ecuación:

$$H_g = 52 * Kw^{0.43}$$

Otro gasto importante vendrá impuestos por los motores propulsores de los cuales se desconoce el precio por tanto se empleará una estimación del 75% del precio de los motores principales incluyendo todos los equipos eléctricos empleados para su correcto funcionamiento (convertidor de frecuencia, cuadros de distribución, transformadores...). Finalmente, será necesario realizar el cálculo de los servicios auxiliares de los grupos generadores:

Sistema de refrigeración, circulación y lubricación $C_{erl} = 6000 + 2.4 * BHP$ $H_{erl} = 2250 + 0.18 * BHP$

- Equipos de arranque de motores

$$C = 75 * N_{co} * Q_{co}$$

$$H_{am} = N_{co} * (40 + 3.5 * Q_{co})$$

Con N_{co} y Q_{co} el número de compresores y el caudal unitario, respectivamente. Existen dos compresores de aire de arranque con un caudal unitario de 50m³/h cada uno. Como los grupos generadores alimentan tanto la planta propulsora como el resto de equipos eléctricos del buque en lugar de la potencia BHP, al no estar el motor diésel acoplado directamente al eje de la hélice, de aquí en adelante se considerará la potencia de los grupos generadores.

- Equipos de manejo de combustible. El coste total puede estimarse en función del número de bombas de trasiego que son 2 y la capacidad de cada una de ellas que es igual a 42 m³/h.

$$C = 44 * N_{bt} * Q_{bt} + 2.1 * BHP$$

$$H_{co} = 0.13 * BHP$$

Equipos de purificación $C_{pv} = 10000 * N_{pa} * Q_{pa} + 4.750 * N_{pd} * Q_{pd}$ $H_{pv} = (90 + 0.056 * BHP) * (N_{pa} * N_{pd})$

Donde N_{pa} es el número de purificadoras de aceite N_{pd} el número de purificadoras de combustible diésel y Q_{pa} y Q_{pd} el caudal unitario de cada una de ellas. Además, es necesario añadir un costo medio de 1500€ para los equipos de lodos, trasiegos y derrames. Recordemos que el buque dispone de 4 purificadoras de caite lubricante con un caudal unitario de 0.818 m³/h y 2 purificadoras de combustible con un caudal de 1,5 m³/h.

Considerando todos estos equipos se obtiene el coste total de los servicios de propulsión y sus auxiliares que asciende a la cifra de 4.873.449.17€ y 25.785 h. En resumen:

Total generadores	2.195.921,11 €
Total propulsores	1.553.293,97 €
Total equipos auxiliares de los G.G.	92.842,25 €
TOTAL MATERIALES PROPULSIÓN	3.842.057,34 €
Total mano de obra	25785 h
Coste mano de obra	40(€/h)
TOTAL MANO DE OBRA PROPULSIÓN	1.031.391,84 €

TOTAL PROPULSIÓN	4.873.449,17 €
-------------------------	-----------------------

3.4 Servicios varios

Dentro de este apartado se incluirán aquellos equipos y servicios que no han sido estimados previamente.

- Bombas de contraincendios, de Lastre, de Servicios Generales y Sentinas.

Esta partida puede estimarse mediante la ecuación:

$$C_{il} = 600 * 3 * Q_{bs}^{\frac{1}{3}} + 960 * 3 * Q_{ci}^{\frac{1}{3}} + 960 * 4 * Q_{ci}^{\frac{1}{3}} + 1100 * Q_{bs}$$

En que Q_{bs} es el caudal de la bomba de sentinas y Q_{ci} el de las bombas contraincendios. Del cuaderno 12 se obtuvieron estos valores que son 130m³/h y de 90m³/h.

$$H = 420 + 0.47 * L(B + D)$$

Separador de sentinas con sus bombas y alarmas $C_{ss} = 156 * GT^{0.5} + 5100$ Recordemos del Cuaderno 9 que GT=21320.

- Equipos sanitarios

El coste del generador de agua dulce se puede estimar en función de su caudal (75t/día). Si tenemos en cuenta que el buque dispone de dos generadores de agua dulce:

$$C_{gad} = 1380 * Q_{gad}$$

Para estimar el coste de la planta de tratamientos de aguas residuales y residuos sólidos consideramos el número de personas a bordo:

$$C_{tar} = 2640 * N^{0.4}$$

$$C_{trs} = 11400 * N^{0.2}$$

Para el cálculo de las horas de mano de obra:

$$Hes = (280 + 8 * Q_{gad}) + (410 + 3,9 * N) + 400$$

- Otros equipos de cámaras de máquinas

Falta por conocer el coste total de la ventilación de cámara de máquinas, así como de equipos de desmontaje o el taller. Las fórmulas para conocer estos valores se muestran a continuación:

$$C_{vcm} = 7,5 * N_v * Q_v^{0.5}$$

$$C_{desmontaje} = 0,84 * BHP$$

$$C_{taller} = 8000€$$

$$H_{Va} = 950 + 0,005 * BHP$$

El número de ventiladores es igual a 4 y cada uno tiene un caudal de 94500m³/h.

Instalaciones y equipos de automatización, telecontrol y alarma El precio total de la cabina y puestos de control puede calcularse con la fórmula: $C_{cc} = 1080 * S_{cc}^{0.85}$

Donde S_{cc} es el área del cuarto de control de máquinas. Se disponen dos cuartos de control de 18m² cada uno. Además, el precio de los costes de automatización y control se estimarán mediante la ecuación:

$$C = 25000 + 3240 * 1,5 * BHP^{\frac{1}{3}}$$

Las horas de mano de obra están incluidas en el costo de los materiales correspondientes.

Falta por conocer el coste de las puertas estancas:

$$C_{pc} = 12500 * N_{pc}^{0.97}$$

$$H_{pc} = 250 * N_{pc}$$

- Estabilizadores y Hélice transversal

$$C_e = 600000 * \left(\frac{14557}{16^2} * B \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_e = 1200 * \left(\frac{14557}{16^2} * B \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$C_{ht} = 900 * (BHP_t)^{0.73}$$

$$H_{ht} = 14,5 * (BHP_t)^{0.7}$$

BHP_t es la potencia de hélice trasversal en CV, es decir 1026 CV.

- Instalaciones y equipos especiales contraincendios

El coste de la instalación contraincendios estructural para buques de pasaje puede estimarse con:

$$C_{ci} = 16000 + 5,5 * S_h$$

El coste del sistema de rociadores se estima en 4 veces la superficie de habilitación. Las horas totales asignadas a los equipos contraincendios pueden calcularse como:

$$H_{ci} = 1000 + 0,75 * S_h$$

Finalmente, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 4: Costes equipos varios

Total auxiliares casco	276.086,50 €
Total agua sanitaria	276.086,50 €
Total equipos varios C.M.	30.729,46 €
Total automatización y control	222.202,90 €
Total estabilizadores	147.642,03 €
Total hélice transversal	142.030,00 €
Total C.I.	104.841,50 €
TOTAL EQUIPOS VARIOS	1.199.618,88 €
Total mano de obra	340693,1203 h
Coste mano de obra	40 (€/h)
TOTAL MANO DE OBRA EQUIPOS VARIOS	13.627.724,81 €
TOTAL EQUIPOS VARIOS	14.827.343,69 €

4 COSTE DEL BUQUE

Además de los costes derivados de los materiales y equipos necesarios para la construcción del buque y la mano de obra que desarrolla el proceso constructivo, el astillero debe hacer frente a otros costes de tipo variable. Estos costes incluyen el trabajo de ingeniería, pruebas, seguro, gastos de la sociedad de clasificación o la preparación de las instalaciones del astillero, entre otras. Como no se dispone de información suficiente sobre estos gastos se aproximarán como un porcentaje del coste total de construcción. Para una primera estimación se considera que estos gastos se corresponden con el 5% del coste calculado hasta ahora. La suma de este valor, el coste de los materiales y el coste por mano de obra dará como resultado el coste final de construcción del buque, es decir, representa el valor monetario que el astillero tiene que afrontar para poder llevar a cabo el proyecto. Sin embargo, esta cifra no será la que figure en el contrato de venta ya que el astillero debe sumar un margen de beneficio. En el trabajo se considerará que el beneficio ganado por el astillero es un 5% del coste total de fabricación.

En los Anexos se encuentran recogidos todos los cálculos llevados a cabo y en la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 5: Costes totales buque

	Materiales y Equipos		Mano de obra		
	€	h	€	Total	
Casco	4.071.762,28 €	649864,9	25.994.597,21 €	30.066.359,49 €	
Armamento	11.611.775,11 €	523853,2	20.954.127,91 €	32.565.903,02 €	
Propulsión	4.873.449,17 €	25784,8	1.031.391,84 €	5.904.841,01 €	
Equipos varios	1.199.618,88 €	340693,1	13.627.724,81 €	14.827.343,69 €	
Costes variables				4.168.222,36 €	
			TOTAL €	87.532.669,57 €	

Margen de beneficio	0,05
Beneficio del astillero €	4.376.633,48 €
Coste total €	91.909.303,05 €

5 ANÁLISIS DEL PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN DEL BUQUE

A continuación, se procede a comparar el presupuesto obtenido para el buque proyecto con el mercado actual del tipo de buques objeto del proyecto. Para poder llevar esto a cabo ha sido necesario realizar un estudio sobre el coste de buques de tipo crucero presentes en la base de datos del Cuaderno 1 para conocer si los resultados obtenidos se encuentran dentro de un orden de magnitud realista y si no es así, que factores pueden haber influido en el resultado.

Tabla 6: Estudio del mercado de buques crucero

Buque	Año	Pasajeros	Coste (millones de €)
Evrina The Ritz Carlton Yatch	2019	190	240
Le Boreal/Le Laperouse	2018	264	134
Seabourn Odyssey, Sojourn, and Quest	2011	450	250
Seabourn Ovation	2018	604	350
Silver Muse	2017	596	320

Como se puede comprobar el coste final obtenido para el buque proyecto se encuentra dentro del margen de los buques contruidos recientemente de características similares. Sin embargo, presenta una cifra total algo menor. Esto puede deberse a diversas causas como, por ejemplo:

- Se está considerando un precio total de la chapa de acero de 450€ tonelada. Este precio no se mantiene constante en el tiempo y en la actualidad puede tener un precio mayor que el considerado en este cuaderno siguiendo las indicaciones del libro del Prof. Fernando Junco Ocampo publicado en el año 2003.
- Los barcos incluidos en la tabla son buques de lujo en su mayoría por lo que el precio de los acabados y la habilitación es mayor al dispuesto para el buque proyecto. El buque proyecto puede resultar interesante para aquellas navieras que quieran ofrecer a sus clientes la tranquilidad de navegar en un buque de pasaje de pequeñas dimensiones, pero con un coste más reducido que los cruceros de lujo.
- Puede que exista algún coste que al cual el astillero debe hacer frente y que no quede recogido en este cuaderno.

Por tanto, y peses a las variaciones de coste total, se puede concluir que el presupuesto presentado en dicho cuaderno es válido y se encuentra dentro del margen de magnitud del mercado actual.

ANEXO XIII.I: HOJA DE CÁLCULO

Costes de construcción del buque

Casco	
Acero casco (t)	6358,6
% Chapa	0,75
Precio chapa (€/t)	450
% Perfil	25,00%
Precio perfil (€/t)	480
Factor seguridad	1,12
TOTAL ACERO CASCO(€)	3.258.146,64 €
Polines (t)	212,6219565
BHP	8972,235
Kw	2516,18
RPM	750
Nmc	4
Tmc	21,25
Nm	2
d	70
H	6,5
Vs	16
Margen	1,2
Costo polines (€/t)	480
TOTAL POLINES (€)	122470,247
Materiales aux. (€/t)	50
TOTAL MATERIALES AUXILIARES (€)	317.930,00 €
Imprimación (€/m2)	2
Granallado Ext. (€/m2)	8
Granallado int. (€/m2)	15
Obra viva (m2)	3938,93
Obra muerta (m2)	7370
Superficie interior (m2)	11308,93
TOTAL PREPARACIÓN SUPERFICIES (€)	305.341,11 €
Costo pintura obra viva (€/m2/micra)	0,013
Espesor (micras)	350
Costo pintura obra viva (€/m2)	4,55
TOTAL PINTURA OBRA VIVA(€)	17.922,13 €
Costo pintura obra muerta (€/m2/micra)	0,012
Espesor (micras)	185
Costo pintura obra muerta (€/m2)	2,22
TOTAL PINTURA OBRA MUERTA(€)	16361,4
Costo pintura interior (€/m2/micra)	0,011
Espesor (micras)	185
Costo pintura interior (€/m2)	2,035
TOTAL PINTURA INTERIOR (€)	23.013,67 €
k	1,8
BHP	8972,235
L	150
TOTAL PINTURA TUBERÍAS (€)	174,447236
Sm (m2)	3938,93
TOTAL PROTECCIÓN CATÓDICA (€)	6105,3415
TOTAL GALVANIZADO Y CEMENTADO (€)	4297,290304
Total materiales casco (€)	4.071.762,28 €
Kba	60
Pac	6358,6
Kf	0,3
cb	0,652
Kb	0,04
Ke	0
Ce	0
Kc	0,05
Nc	10
TOTAL HMO CASCO (h)	635390,1758
L	150
H	6,5
k1	2
TOTAL HMO PIEZAS FUND. (h)	2097,18421
Mano de obra preparación sup. (h/m2)	0,02
Total Sup. (m2)	22617,86
TOTAL HMO PREPARACIÓN SUP. (h)	452,3572
Som	7370
Nom	2
Sov	3938,93
Nov	3
Si	11308,93
Ni	2
TOTAL HMO PINTURA (h)	11925,21313
TOTAL HMO (h)	649864,9303
Precio mano de obra (€/h)	40
Total Mano de obra casco (€)	25994597,21
Total Casco (€)	30.066.359,49 €

Total acero casco	3.258.146,64 €
Total polines	122.470,25 €
Total material auxiliar	317.930,00 €
Total preparación de superficies	309.638,40 €
Total pintura	57.471,65 €
Total protección catódica	6.105,34 €
TOTAL MATERIALES CASCO	4.071.762,28 €

Total mano de obra	649864,9303 h
Coste mano de obra	40 (€/h)
TOTAL MANO DE OBRA CASCO	25.994.597,21 €
TOTAL CASCO	30.066.359,49 €

Armamento	
N.º anclas	2
Peso ancla (kg/ancla)	6450
Peso total anclas	12900
Precio anclas (€/t)	2500
COSTE ANCLAS (€)	2512,9
d (mm)	70
Lc (m)	605
COSTE CADENAS (€)	135625,875
L (m)	150
B (m)	24
D (m)	8,8
TOTAL ACCESORIOS FONDEO	9289,123572
d (mm)	70
Tcb (T)	21,25
N.º molinetes	2
N.º cabestrantes	4
COSTE MOLINETES (€)	150237,6225
COSTE CABESTRANTES (€)	1196786,839
TOTAL EQUIPOS AMARRE Y FONDEO (€)	1.494.452,36 €
TOTAL HMO AMARRE Y FONDEO (h)	1560,093033
N.º botes salvavidas	4
Capacidad bote	85
Tipo de bote (kbo)	3000
COSTE BOTES SALVAVIDAS (€)	231985,334
kba	1200
N.º balsas salvavidas	8
Np	35
COSTE BALSAS SALVAVIDAS (€)	31402,23658
N.º botes rescate	2
Coste (€/bote)	6000
COSTE BOTES RESCATE (€)	12000
N.º pescantes botes	4
Capacidad bote	85
kpb	4000
COSTE PESCANTES BOTES (€)	309313,7787
N.º pescantes balsas	3
Coste (€/pescante)	8500
COSTE PESCANTES BALSAS (€)	25500
N	450
COSTE VARIOS (€)	16000
TOTAL MEDIOS SALVAMENTO (€)	626.201,35 €
TOTAL HMO MEDIOS SALVAMENTO (h)	7050
kh (€/m2)	400
sh (m2)	16153
TOTAL HABILITACIÓN (€)	6461200
TOTAL HMO HABILITACIÓN (h)	258448
kco	300
N	450
COSTE FONDA Y HOTEL (€)	135000
V (m3)	588
COSTE GAMBUZAS (€)	126335,108
COSTE LAVANDERÍA (€)	108000
TOTAL FONDA Y HOTE (€)	369.335,11 €
TOTAL HMO FONDA Y HOTEL (h)	51750
Coste HVAC (€/m2)	60
Coste HVAC (€)	969180
Coste ventilación mecánica (€)	3937,20445
TOTAL ACONDICIONAMIENTO (€)	973.117,20 €
TOTAL HMO ACONDICIONAMIENTO (h)	32306
COSTE EQUIPOS NAVEGACIÓN (€)	162000
COSTE COMUNICACIONES EXTERNAS	141000
COSTE COMUNICACIONES INTERNAS	122391,671
TOTAL NAVEGACIÓN Y COMUNICACIONES	425391,671
TOTAL HMO NAVEGACIÓN Y COM. (h)	1320
Lm(m)	48
Dm (m)	4,7
B (m)	24
TOTAL C.I. C.M.	45480,96
TOTAL HMO C.I. C.M.	264
Kw	12000
TOTAL INSTALACIÓN ELÉCTRICA (€)	664.065,31 €
TOTAL HMO INSTALACIÓN ELÉCTRICA (h)	136612
Lm(m)	48
B (m)	24
Dm (m)	4,7
L (m)	150
kt	5,7
BHP	8972,235
sh (m2)	16153
TOTAL TUBERÍAS (€)	552.531,14 €
TOTAL HMO TUBERÍAS (h)	34543,10475

Total equipos amarre y fondeo	1.494.452,36 €
Total medios de salvamento	626.201,35 €
Total habilitación	6.461.200,00 €
Total fonda y hotel	369.335,11 €
Total HVAC	973.117,20 €
Total navegación y comunicaciones	425.391,67 €
Total C.I. Cámara de Máquinas	45.480,96 €
Total instalación eléctrica	664.065,31 €
Total tuberías	552.531,14 €

TOTAL MATERIALES ARMAMENTO	11.611.775,11 €
-----------------------------------	------------------------

Total mano de obra	523853,1978 h
Coste mano de obra	40 (€/h)

TOTAL MANO DE ARMAMENTO	20.954.127,91 €
--------------------------------	------------------------

TOTAL ARMAMENTO	32.565.903,02 €
------------------------	------------------------

Propulsión	
N.º generadores principales	4
RPM	750
DIA	320
Kwg	3000
Nc	6
COSTE GRUPOS GENERADORES PRINCIPALES (€)	2.071.058,63 €
N.º generadores emergencia	1
RPM	1000
DIA	160
Kwg	855
Nc	9
COSTE GRUPOS GENERADORES EMERGENCIA (€)	124862,481
TOTAL GRUPOS GENERADORES (€)	2.195.921,11 €
HMO GRUPOS GENERADORES (h)	5826,374803
TOTAL PROPULSORES ELÉCTRICOS (€)	1.553.293,97 €
HMO PROPULSORES ELÉCTRICOS (H)	4369,781102
BHP (Cv)	16080
COSTE SISTEMA REFRIGERACIÓN (€)	44.592,00 €
HMO SISTEMA REFRIGERACIÓN (h)	5144,4
Nco	2
Qco	50
COSTE SISTEMA ARRANQUE (€)	7.500,00 €
HMO SISTEMA DE ARRANQUE (H)	430
Npa	4
Qpa	0,0818
Npd	2
Qpd	1,5
COSTES PURIFICADORAS (€)	3.286,25 €
HMO PURIFICADORAS (h)	7923,84
Nbt	2
Qbt	42
COSTES SISTEMA COMBUSTIBLE	37.464,00 €
HMO SISTEMA COMBUSTIBLE (h)	2090,4
TOTAL SIST. AUX. C.M.	92.842,25 €
TOTAL HMO PROPULSIÓN (h)	25784,7959

Total generadores	2.195.921,11 €
Total propulsores	1.553.293,97 €
Total equipos auxiliares de los gg	92.842,25 €
TOTAL MATERIALES PROPULSIÓN	3.842.057,34 €

Total mano de obra	25784,7959 h
Coste mano de obra	40 (€/h)
TOTAL MANO DE OBRA PROPULSIÓN	1.031.391,84 €
TOTAL PROPULSIÓN	4.873.449,17 €

Equipos varios	
Qbs	130
Qci	30
COSTE BOMBAS (€)	167033,1507
GT	21320
COSTE SEPARADOR SENTINAS (€)	27878,13689
TOTAL AUX. CASCO (€)	194.911,29 €
HMO AUXILIARES CASCO (h)	2732,4
Qgad	75
N generadores agua dulce	2
COSTE GENERADOR AGUA DULCE (€)	207000
COSTE TAR (€)	30401,07441
COSTE TRS (€)	38685,42337
TOTAL AUX. CASCO (€)	276.086,50 €
HMO AGUA SANITARIA (h)	170565
Nv	4
Qv	94500
COSTE VENTILACIÓN C.M. (€)	9222,255689
BHP (CV)	16080
COSTE DESMONTAJE (€)	13507,2
COSTE TALLER (€)	8000
TOTAL EQ. C.M. (€)	30729,45569
HMO EQ. C.M. (h)	1030,4
Scc (m2)	36
COSTE CABINAS CONTROL (€)	22713,33368
COSTES AUTOMATIZACIÓN (€)	26620
COSTES PUERTAS ESTANCAS (€)	172869,5631
TOTAL COSTES AUTOMATIZACIÓN Y C	222.202,90 €
TOTAL HMO PUERTAS ESTANCAS (h)	3750
Desplazamiento (t)	14557
COSTES ESTABILIZADORES (€)	73.821.016,77 €
HMO ESTABILIZADORES (h)	147642,0335
BHP t	1026
COSTES HÉLICE TRANSVERSAL (€)	142.030,00 €
HMO HÉLICE TRANSVERSAL (h)	1858,536757
Sh (m2)	16153
TOTAL C.I. (€)	104.841,50 €
HMO C.I.	13114,75

Total auxiliares casco	276.086,50 €
Total agua sanitaria	276.086,50 €
Total equipos varios C.M.	30.729,46 €
Total automatización y control	222.202,90 €
Total estabilizadores	147.642,03 €
Total hélice transversal	142.030,00 €
Total C.I.	104.841,50 €
TOTAL EQUIPOS VARIOS	1.199.618,88 €

Total mano de obra	340693,1203 h
Coste mano de obra	40 (€/h)
TOTAL MANO DE OBRA EQUIPOS VARIOS	13.627.724,81 €
TOTAL EQUIPOS VARIOS	14.827.343,69 €

	Materiales y Equipos		Mano de obra		Total
	€	h	€		
Casco	4.071.762,28 €	649864,9	25.994.597,21 €		30.066.359,49 €
Armamento	11.611.775,11 €	523853,2	20.954.127,91 €		32.565.903,02 €
Propulsión	4.873.449,17 €	25784,8	1.031.391,84 €		5.904.841,01 €
Equipos varios	1.199.618,88 €	340693,1	13.627.724,81 €		14.827.343,69 €
Costes variables del astillero					4.168.222,36 €
TOTAL €					87.532.669,57 €

Margen de beneficio	0,05
Beneficio del astillero €	4.376.633,48 €
Coste total €	91.909.303,05 €



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/21**

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Anexo XIV

TABLAS ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA

ÍNDICE

1 Introducción	3
2 Estrategia constructiva caso de estudio 1	5
3 Estrategia constructiva caso 2	26
4 Estrategia constructiva caso 3	46

1 INTRODUCCIÓN

En este documento se recogen las tablas con la Estrategia Constructiva desarrollada para cada caso de estudio:

1. Buque proyecto
2. Buque proyecto con modificaciones en el compartimentado
3. Buque proyecto con modificaciones en las dimensiones principales y en el compartimentado

Para cada caso de estudio se definen tres tablas correspondientes al despiece en bloques, subbloques y unidades abiertas. En las tablas se encuentra recogida la siguiente información:

- Códigos de los componentes
- Dimensiones de los componentes
- Producto intermedio al que pertenece cada componente
- Secuencia de montaje
- Secuencia de fabricación que viene definida por el orden de montaje de los bloques
- Pesos de los componentes. Se hallaron a partir del diseño preliminar de la estructura:
-

Tabla 1: Pesos considerados para el cálculo del peso de los productos intermedios.
Elaboración propia.

Elemento	Peso (kg/m)
Longitudinales de fondo	16,2
Longitudinales de D.F.	16,2
Longitudinales de costado	12,7
Longitudinales de superestructura	7,65
Longitudinales de cubierta	6,08
Longitudinales de mamparo	9,74
Vagra central	85,67
Resto de vagras	71,435
Baos hasta C.Pal.	113,511
Baos Superestructura	27,475
Bulárcamas hasta C.Pal.	74,575
Bulárcamas Mamparo	46,5505
Bulárcamas Superestructura	23,236
Varengas	71,435

- Cordón de soldadura de las operaciones de ensamblaje (información empleada para llevar a cabo la simulación)
- Descripción de la unidad abierta
- Código de los componentes

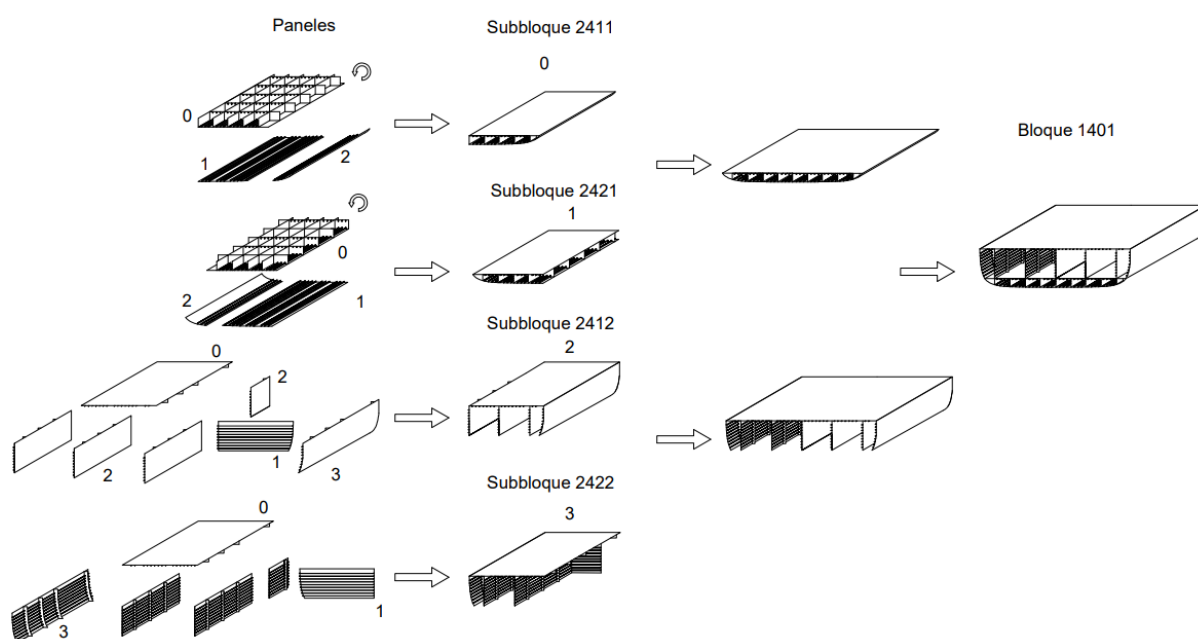
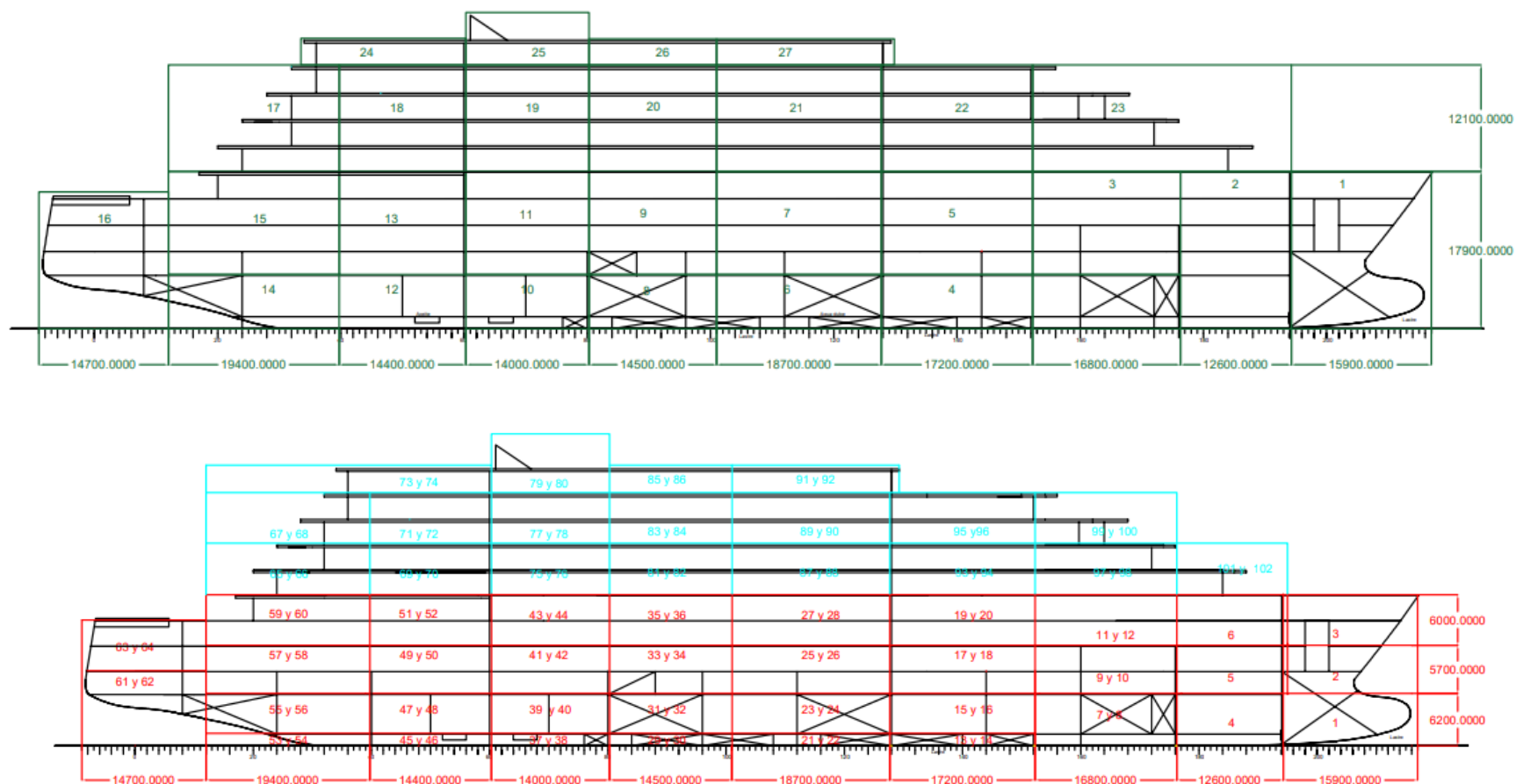


Figura 1: Representación visual Estrategia Constructiva bloque 1401. Elaboración propia.

2 ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA CASO DE ESTUDIO 1



- Figura 2: Despiece del buque caso 1. Elaboración propia.

Tabla 2: Estrategia constructiva Caso 1

BLOQUES							
IDBloque	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	Peso +30% (t)	Secuencia
1	1901	15,9	14,1	6,2	152,30	197,99	14
2	1801	12,6	15,98	6,2	309,40	402,22	12
3	1701	16,8	11,3	6,2	174,55	226,92	10
4	1601	17,2	11,45	4,7	207,55	269,81	8
5	1602	17,2	11,95	6	239,05	310,76	6
6	1501	18,7	12	4,7	194,78	253,21	4
7	1502	18,7	12	6	187,59	243,86	15
8	1401	14,5	12	4,7	161,23	209,61	13
9	1402	14,5	12	6	194,27	252,54	11
10	1301	14	12	4,7	171,52	222,98	9
11	1302	14	12	6	206,62	268,61	7
12	1201	14,4	12	4,7	197,25	256,43	5
13	1202	14,4	12	6	182,89	237,75	16
14	1101	19,4	12	4,7	195,16	253,71	3
15	1102	19,4	12	6	313,10	407,03	2
16	1001	14,3	12	6	77,74	101,06	1
17	1103	13,8	11	6	115,97	150,76	17
18	1203	14,4	11	6	99,65	129,55	18
19	1303	14	11	6	99,43	129,26	24
20	1403	14,5	11	6	141,27	183,66	19
21	1503	18,7	11	6	137,84	179,20	25
22	1603	19,8	11	6	94,72	123,13	20
23	1703	16,8	11	6	35,19	45,74	26
24	1204	18,4	11	3	24,91	32,39	21
25	1304	14	11	6	24,89	32,36	22
26	1404	14,5	11	3	41,00	53,29	27
27	1504	19,8	11	3	0,00	0,00	23

SUBBLOQUES									
IDSubBloque	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	Peso +20% (t)	IDBloque	Secuencia	Cordón de soldadura (m)
1	2901	15,9	3,3	6,2	144,09	172,90	1	0	0,0
2	2902	15,9	4,3	5,9	31,67	38,01	1	1	101,0
3	2903	15,9	14,1	5,9	42,21	50,66	1	2	65,1
4	2801	12,6	9,97	6,2	46,22	55,46	2	0	0,0
5	2802	12,6	13,5	5,9	37,21	44,65	2	1	75,8
6	2803	12,6	15,98	5,9	68,87	82,65	2	2	65,1
7	2711	16,8	9,4	6,2	69,34	83,21	3	0	0,0
8	2721	16,8	9,4	6,2	67,80	81,36	3	1	152,7
9	2712	16,8	10,4	5,9	53,01	63,61	3	2	112,1
10	2722	16,8	10,4	5,9	52,80	63,36	3	3	136,4
11	2713	16,8	11,3	5,9	33,33	39,99	3	4	72,0
12	2723	16,8	11,3	5,9	33,12	39,75	3	5	70,6
13	2611	17,2	9,09	1,5	48,66	58,39	4	0	0,0
14	2621	17,2	9,09	1,5	47,19	56,62	4	1	88,4
15	2612	17,2	11,45	4,7	39,40	47,28	4	2	71,0
16	2622	17,2	11,45	4,7	39,30	47,16	4	3	166,8
17	2613	17,2	11,75	5,7	63,09	75,71	5	0	0,0
18	2623	17,2	11,75	5,7	62,88	75,46	5	1	102,1
19	2614	17,2	11,95	6	40,89	49,07	5	2	90,9
20	2624	17,2	11,95	6	40,68	48,82	5	3	75,5
21	2511	18,7	12	1,5	57,54	69,05	6	0	0,0
22	2521	18,7	12	1,5	55,94	67,13	6	1	91,6
23	2512	18,7	12	4,7	65,48	78,57	6	2	58,7
24	2522	18,7	12	4,7	60,09	72,11	6	3	343,6
25	2513	18,7	12	5,7	60,38	72,46	7	0	0,0
26	2523	18,7	12	5,7	60,16	72,19	7	1	91,4
27	2514	18,7	12	6	37,23	44,68	7	2	77,2
28	2524	18,7	12	6	37,01	44,41	7	3	81,5
29	2411	14,5	12	1,5	46,38	55,65	8	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva
Lucía Barreiro Varela

30	2421	14,5	12	1,5	45,13	54,16	8	1	72,0
31	2412	14,5	12	4,7	50,89	61,07	8	2	52,1
32	2422	14,5	12	4,7	45,18	54,22	8	3	255,4
33	2413	14,5	12	5,7	52,55	63,07	9	0	0,0
34	2423	14,5	12	5,7	50,56	60,67	9	1	82,4
35	2414	14,5	12	6	29,15	34,98	9	2	62,0
36	2424	14,5	12	6	28,97	34,77	9	3	63,6
37	2311	14	12	1,5	52,36	62,83	10	0	0,0
38	2321	14	12	1,5	51,16	61,39	10	1	84,0
39	2312	14	12	4,7	45,27	54,32	10	2	54,3
40	2322	14	12	4,7	45,49	54,58	10	3	121,8
41	2313	14	12	5,7	56,95	68,34	11	0	0,0
42	2323	14	12	5,7	56,57	67,88	11	1	78,2
43	2314	14	12	6	29,09	34,91	11	2	64,0
44	2324	14	12	6	28,92	34,70	11	3	69,2
45	2211	14,4	12	1,5	52,82	63,38	12	0	0,0
46	2221	14,4	12	1,5	51,59	61,90	12	1	88,4
47	2212	14,4	12	4,7	51,11	61,33	12	2	69,6
48	2222	14,4	12	4,7	51,11	61,33	12	3	123,4
49	2213	14,4	12	5,7	63,27	75,92	13	0	0,0
50	2223	14,4	12	5,7	63,21	75,85	13	1	98,3
51	2214	14,4	12	6	34,91	41,89	13	2	84,9
52	2224	14,4	12	6	35,86	43,04	13	3	116,8
53	2111	12,5	12	1,4	38,68	46,42	14	0	0,0
54	2121	12,5	12	1,4	37,61	45,14	14	1	59,9
55	2112	19,4	12	4,7	53,29	63,95	14	2	76,9
56	2122	19,4	12	4,7	53,29	63,95	14	3	85,7
57	2113	19,4	12	5,7	62,13	74,56	15	0	0,0
58	2123	19,4	12	5,7	61,90	74,27	15	1	94,2
59	2114	19,4	12	6	35,68	42,81	15	2	84,4
60	2124	19,4	12	6	35,46	42,55	15	3	84,3

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

61	2011	14,1	12	5,87	82,09	98,50	16	0	0,0
62	2021	14,1	12	5,87	82,09	98,50	16	1	108,3
63	2012	14,3	12	6	74,46	89,36	16	2	71,1
64	2022	14,3	12	6	74,46	89,36	16	3	97,6
65	2115	13,8	11	6	24,73	29,67	17	0	0,0
66	2125	13,8	11	6	24,57	29,49	17	1	70,9
67	2116	8,2	11	6	14,26	17,11	17	2	47,3
68	2126	8,2	11	6	14,18	17,01	17	3	56,1
69	2215	14,4	11	6	29,23	35,08	18	0	0,0
70	2225	14,4	11	6	29,06	34,87	18	1	84,5
71	2216	14,4	11	6	28,93	34,71	18	2	84,5
72	2226	14,4	11	6	28,75	34,50	18	3	370,6
73	2217	18,4	11	3	17,65	21,18	24	0	0,0
74	2227	18,4	11	3	17,54	21,04	24	1	60,5
75	2315	14	11	6	25,00	30,00	19	0	0,0
76	2325	14	11	6	24,83	29,79	19	1	64,0
77	2316	14	11	6	25,00	30,00	19	2	64,0
78	2326	14	11	6	24,83	29,79	19	3	67,2
79	2317	14	11	6	12,50	15,00	25	0	0,0
80	2327	14	11	6	12,41	14,90	25	1	32,0
81	2415	14,5	11	6	24,84	29,81	20	0	0,0
82	2425	14,5	11	6	24,80	29,77	20	1	62,0
83	2416	14,5	11	6	24,98	29,98	20	2	62,0
84	2426	14,5	11	6	24,80	29,77	20	3	63,6
85	2417	14,5	11	3	12,49	14,99	26	0	0,0
86	2427	14,5	11	3	12,40	14,88	26	1	31,0
87	2515	18,7	11	6	35,43	42,52	21	0	0,0
88	2525	18,7	11	6	35,20	42,25	21	1	79,6
89	2516	18,7	11	6	35,43	42,52	21	2	79,6
90	2526	18,7	11	6	35,20	42,25	21	3	81,5
91	2517	19,8	11	3	20,56	24,67	27	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva
Lucía Barreiro Varela

92	2527	19,8	11	3	20,44	24,53	27	1	46,2
93	2615	17,3	11	6	35,42	42,50	22	0	0,0
94	2625	17,3	11	6	35,21	42,25	22	1	94,1
95	2616	19,8	11	6	34,35	41,22	22	2	94,1
96	2626	19,8	11	6	32,87	39,44	22	3	121,2
97	2714	16,8	11	6	29,62	35,55	23	0	0,0
98	2724	16,8	11	6	29,42	35,30	23	1	92,6
99	2715	11	11	3	9,86	11,83	23	4	32,6
100	2725	11	11	3	9,79	11,75	23	5	66,7
101	2814	8,2	11	3	8,01	9,61	23	2	26,6
102	2824	8,2	11	3	8,01	9,61	23	3	55,5

UNIDADES ABIERTAS

IDComponente	Descripción	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	IDSubBloque	Nombre SubBloque	IDBloque	Secuencia	Cordón de soldadura (m)
1	Doble fondo	OD1-411	14,5	11,23	1,5	24,18	29	2411	8	0	0,0
2	Forro del fondo	OF1-411	14,5	7,9	0,2	14,34	29	2411	8	1	261,0
3	Forro pantoque	1F2-411	14,5	3,33	1,5	7,85	29	2411	8	1	138,0
4	Doble fondo	OD1-421	14,5	11,23	1,5	22,94	30	2421	8	0	0,0
5	Forro del fondo	OF1-421	14,5	7,9	0,2	14,34	30	2421	8	1	245,2
6	Forro pantoque	1F2-421	14,5	3,33	1,5	7,85	30	2421	8	1	138,0
7	Cubierta	OC2-412	14,5	12	0,1	19,15	31	2412	8	0	0,0
8	Forro	1F1-412	14,5	0,1	4,7	8,94	31	2412	8	3	60,2
9	Mamparo long.	OL1-412	11,2	0,1	4,7	5,36	31	2412	8	2	53,1
10	Mamparo long.	OL2-412	11,2	0,1	4,7	5,36	31	2412	8	2	53,1
11	Mamparo long.	OL3-412	11,2	0,1	4,7	5,36	31	2412	8	2	53,1
12	Mamparo long.	OL4-412	3,5	0,1	4,7	1,69	31	2412	8	2	26,2
13	Mamparo trans.	OT1-412	0,1	12	4,7	5,04	31	2412	8	1	40,0
14	Cubierta	OC2-422	14,5	12	0,1	19,15	32	2422	8	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

15	Forro	1F1-422	14,5	0,1	4,7	8,59	32	2422	8	3	60,2
16	Mamparo long.	0L1-422	11,2	0,1	4,7	5,36	32	2422	8	2	53,1
17	Mamparo long.	0L2-422	11,2	0,1	4,7	5,36	32	2422	8	2	53,1
18	Mamparo long.	0L3-422	3,5	0,1	4,7	1,69	32	2422	8	2	26,2
19	Mamparo trans.	0T1-421	0,1	12	4,7	5,04	32	2422	8	1	24,0
20	Cub 3	0C1-413	14,5	12	0,1	19,50	33	2413	9	0	0,0
21	Cub 4	0C2-413	14,5	12	0,1	15,70	33	2413	9	4	33,8
22	Forro costado	0F1-413	14,5	0,2	5,7	9,83	33	2413	9	3	46,4
23	Mamparo trans.	0T1-413	0,1	12	2,7	3,46	33	2413	9	1	44,0
24	Mamparo tanque	0T2-413	0,1	4,68	2,7	1,12	33	2413	9	1	16,4
25	Mamparo long tanque	0L1-413	5,6	0,1	2,7	1,47	33	2413	9	2	25,5
26	Mamparo long tanque	0L2-413	5,6	0,1	2,7	1,47	33	2413	9	2	26,5
27	Cub 3	0C1-423	14,5	12	0,1	19,42	34	2423	9	0	0,0
28	Cub 4	0C2-423	14,5	12	0,1	15,62	34	2423	9	4	33,8
29	Forro costado	0F1-423	14,5	0,2	5,7	9,83	34	2423	9	3	46,4
30	Mamparo trans.1	0T1-423	0,1	4,68	2,7	1,35	34	2423	9	1	16,4
31	Mamparo trans.2	0T2-423	0,1	12	2,7	2,87	34	2423	9	1	43,0
32	Mamparo long	0L1-423	5,6	0,1	2,7	1,47	34	2423	9	2	26,5
33	Cub 5	0C1-414	14,5	12	0,1	10,26	35	2414	9	2	36,6
34	Cub 6	0C2-414	14,5	12	0,1	10,26	35	2414	9	0	0,0
35	Forro costado	0F1-414	14,5	0,2	6	8,64	35	2414	9	1	33,8
36	Cub 5	0C1-424	14,5	12	0,1	10,17	36	2424	9	2	36,6
37	Cub 6	0C2-424	14,5	12	0,1	10,17	36	2424	9	0	0,0
38	Forro costado	0F1-424	14,5	0,2	6	8,64	36	2424	9	1	33,8
39	Cub 7	0C1-415	14,5	11	0,1	9,20	81	2415	20	2	31,8
40	Cub 8	0C2-415	14,5	11	0,1	9,20	81	2415	20	0	0,0
41	Forro costado	0F1-415	14,5	0,2	3	3,22	81	2415	20	1	33,8
42	Forro costado	0F2-415	14,5	0,2	3	3,22	81	2415	20	3	33,8
43	Cub 7	0C1-425	14,5	11	0,1	9,11	82	2425	20	2	31,8

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

44	Cub 8	OC2-425	14,5	11	0,1	9,11	82	2425	20	0	0,0
45	Forro costado	OF1-425	14,5	0,2	3	3,29	82	2425	20	1	33,8
46	Forro costado	OF2-425	14,5	0,2	3	3,29	82	2425	20	3	33,8
47	Cub 9	OC1-416	14,5	11	0,1	9,20	83	2416	20	2	31,8
48	Cub 10	OC2-416	14,5	11	0,1	9,20	83	2416	20	0	0,0
49	Forro costado	OF1-416	14,5	0,2	3	3,29	83	2416	20	1	33,8
50	Forro costado	OF2-416	14,5	0,2	3	3,29	83	2416	20	3	33,8
51	Cub 9	OC1-426	14,5	11	0,1	9,11	84	2426	20	2	31,8
52	Cub 10	OC2-426	14,5	11	0,1	9,11	84	2426	20	0	0,0
53	Forro costado	OF1-426	14,5	0,2	3	3,29	84	2426	20	1	33,8
54	Forro costado	OF2-426	14,5	0,2	3	3,29	84	2426	20	3	33,8
55	Cubierta superior	OC1-417	14,5	11	0,1	9,20	85	2417	26	0	0,0
56	Forro costado	OF1-417	14,5	0,2	3	3,29	85	2417	26	1	33,8
57	Cubierta superior	OC1-427	14,5	11	0,1	9,11	86	2427	26	0	0,0
58	Forro costado	OF1-427	14,5	0,2	3	3,29	86	2427	26	1	33,8
59	Doble fondo	OD1-311	14	11,23	1,5	27,50	37	2311	10	0	0,0
60	Forro del fondo	OF1-311	14	7,9	0,2	13,85	37	2311	10	1	402,0
61	Forro pantoque	1F2-311	14	3,33	3,9	11,01	37	2311	10	1	186,0
62	Doble fondo	OD1-321	14	11,23	1,5	26,30	38	2321	10	0	0,0
63	Forro del fondo	OF1-321	14	7,9	0,2	13,85	38	2321	10	1	374,0
64	Forro pantoque	1F2-321	14	3,33	3,9	11,01	38	2321	10	1	186,0
65	Cubierta2	OC2-312	14	12	0,1	25,49	39	2312	10	0	0,0
66	Forro	1F1-312	14	0,1	4,7	10,44	39	2312	10	2	90,3
67	Mamparo long. D.c.	OL1-312	7	0,1	4,7	3,30	39	2312	10	2	66,8
68	Mamparo trans	OT1-312	0,2	12	4,7	5,04	39	2312	10	1	40,0
69	Mamparo trans. d.c.	OT2-312	0,2	2,4	4,7	1,01	39	2312	10	1	6,8
70	Cubierta	OC2-322	14	12	0,1	25,49	40	2322	10	0	0,0
71	Forro	1F1-322	14	0,1	4,7	10,44	40	2322	10	2	90,3
72	Mamparo long. D.c.	OL1-322	7	0,1	4,7	3,52	40	2322	10	2	66,8
73	Mamparo trans	OT1-322	0,2	12	4,7	5,04	40	2322	10	1	40,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

74	Mamparo d.c.	OT2-322	0,2	2,4	4,7	1,01	40	2322	10	1	6,8
75	Cub 3	OC1-313	14	12	0,1	25,83	41	2313	11	0	0,0
76	Cub 4	OC2-313	14	12	0,1	16,54	41	2313	11	3	38,6
77	Forro costado	OF1-313	14	0,2	5,7	11,12	41	2313	11	2	66,7
78	Mamparo trans	OT1-313	0,2	12	2,7	3,46	41	2313	11	1	44,0
79	Cub 3	OC1-323	14	12	0,1	25,75	42	2323	11	0	0,0
80	Cub 4	OC2-323	14	12	0,1	16,45	42	2323	11	3	38,6
81	Forro costado	OF1-323	14	0,2	5,7	10,91	42	2323	11	2	66,7
82	Mamparo trans	OT1-323	0,2	12	2,7	3,46	42	2323	11	1	43,0
83	Cub 5	OC1-314	14	12	0,1	10,29	43	2314	11	2	43,2
84	Cub 6	OC2-314	14	12	0,1	10,29	43	2314	11	0	0,0
85	Forro costado	OF1-314	14	0,2	6	8,50	43	2314	11	1	37,6
86	Cub 5	OC1-324	14	12	0,1	10,21	44	2324	11	2	43,2
87	Cub 6	OC2-324	14	12	0,1	10,21	44	2324	11	0	0,0
88	Forro costado	OF1-324	14	0,2	6	8,50	44	2324	11	1	37,6
89	Cub 7	OC1-315	14	11	0,1	9,24	75	2315	19	2	33,6
90	Cub 8	OC2-315	14	11	0,1	9,24	75	2315	19	0	0,0
91	Forro costado	OF1-315	14	0,2	3	3,26	75	2315	19	1	37,6
92	Forro costado	OF2-315	14	0,2	3	3,26	75	2315	19	3	37,6
93	Cub 7	OC1-325	14	11	0,1	9,15	76	2325	19	2	33,6
94	Cub 8	OC2-325	14	11	0,1	9,15	76	2325	19	0	0,0
95	Forro costado	OF1-325	14	0,2	3	3,26	76	2325	19	1	37,6
96	Forro costado	OF2-325	14	0,2	3	3,26	76	2325	19	3	37,6
97	Cub 9	OC1-316	14	11	0,1	9,24	77	2316	19	2	33,6
98	Cub 10	OC2-316	14	11	0,1	9,24	77	2316	19	0	0,0
99	Forro costado	OF1-316	14	0,2	3	3,26	77	2316	19	1	37,6
100	Forro costado	OF2-316	14	0,2	3	3,26	77	2316	19	3	37,6
101	Cub 9	OC1-326	14	11	0,1	9,15	78	2326	19	2	33,6
102	Cub 10	OC2-326	14	11	0,1	9,15	78	2326	19	0	0,0
103	Forro costado	OF1-326	14	0,2	3	3,26	78	2326	19	1	37,6
104	Forro costado	OF2-326	14	0,2	3	3,26	78	2326	19	3	37,6

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

105	Cubierta superior	OC1-317	14	11	0,1	9,24	79	2317	25	0	0,0
106	Forro costado	OF1-317	14	0,2	3	3,26	79	2317	25	1	33,8
107	Cubierta superior	OC1-327	14,4	11	0,1	9,15	80	2327	25	0	0,0
108	Forro costado	OF1-327	14,4	0,2	3	3,26	80	2327	25	1	33,8
109	Doble fondo	OD1-211	14,4	11,23	1,5	27,25	45	2211	12	0	0,0
110	Forro del fondo	OF1-211	14,4	7,9	0,2	14,24	45	2211	12	1	426,2
111	Forro pantoque	1F2-211	14,4	3,33	3,9	11,32	45	2211	12	1	194,9
112	Doble fondo	OD1-221	14,4	11,23	1,5	26,02	46	2221	12	0	0,0
113	Forro del fondo	OF1-221	14,4	7,9	0,2	14,24	46	2221	12	1	426,2
114	Forro pantoque	1F2-221	14,4	3,33	3,9	11,32	46	2221	12	1	194,9
115	Cubierta	OC2-212	14,4	12	0,1	25,87	47	2212	12	0	0,0
116	Forro	1F1-212	14,4	0,1	4,7	10,64	47	2212	12	2	112,3
117	Mamparo long. D.c.	OL1-212	7	0,1	4,7	3,52	47	2212	12	2	66,8
118	Mamparo trans	OT1-212	0,2	12	4,7	5,04	47	2212	12	1	40,0
119	Mamparo trans. d.c.	OT2-212	0,2	2,4	4,7	1,01	47	2212	12	1	6,8
120	Mamparo trans	OT3-212	0,2	12	4,7	5,04	47	2212	12	1	40,0
121	Cubierta	OC2-222	14,4	12	0,1	25,87	48	2222	12	0	0,0
122	Forro	1F1-222	14,4	0,1	4,7	10,64	48	2222	12	2	112,3
123	Mamparo long. D.c.	OL1-222	7	0,1	4,7	3,52	48	2222	12	2	66,8
124	Mamparo trans	OT1-222	0,2	12	4,7	5,04	48	2222	12	1	40,0
125	Mamparo d.c.	OT2-222	0,2	2,4	4,7	1,01	48	2222	12	1	6,8
126	Mamparo trans	OT3-222	0,2	12	4,7	5,04	48	2222	12	1	40,0
127	Cub 3	OC1-213	14,4	12	0,1	26,22	49	2213	13	0	0,0
128	Cub 4	OC2-213	14,4	12	0,1	16,93	49	2213	13	3	38,4
129	Forro costado	OF1-213	14,4	0,2	5,7	11,37	49	2213	13	2	92,9
130	Mamparo trans	OT1-213	0,2	12	2,7	2,87	49	2213	13	1	44,0
131	Mamparo trans	OT2-213	0,2	12	5,7	5,88	49	2213	13	1	44,0
132	Cub 3	OC1-223	14,4	12	0,1	26,13	50	2223	13	0	0,0
133	Cub 4	OC2-223	14,4	12	0,1	16,84	50	2223	13	3	38,4
134	Forro costado	OF1-223	14,4	0,2	5,7	11,37	50	2223	13	2	92,9

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

135	Mamparo trans	OT1-223	0,2	12	2,7	2,87	50	2223	13	1	43,0
136	Mamparo trans	OT2-223	0,2	12	5,7	6,00	50	2223	13	1	44,0
137	Cub 5	OC1-214	14,4	12	0,1	10,53	51	2214	13	3	88,0
138	Cub 6	OC2-214	14,4	12	0,1	10,53	51	2214	13	0	0,0
139	Forro costado	OF1-214	14,4	0,2	6	8,72	51	2214	13	2	64,4
140	Mamparo trans	OT1-214	0,2	12	6	5,13	51	2214	13	1	44,0
141	Cub 5	OC1-224	14,4	12	0,1	10,44	52	2224	13	3	87,0
142	Cub 6	OC2-224	14,4	12	0,1	10,44	52	2224	13	0	0,0
143	Forro costado	OF1-224	14,4	0,2	6	8,72	52	2224	13	2	64,4
144	Mamparo trans	OT1-224	0,2	12	6	6,26	52	2224	13	1	43,0
145	Cub 7	OC1-215	14,4	11	0,1	9,45	69	2215	18	2	34,4
146	Cub 8	OC2-215	14,4	11	0,1	9,45	69	2215	18	0	0,0
147	Forro costado	OF1-215	14,4	0,2	3	3,34	69	2215	18	1	38,4
148	Forro costado	OF2-215	14,4	0,2	3	3,34	69	2215	18	3	38,4
149	Mamparo trans	OT1-215	0,2	11	6	3,65	69	2215	18	4	108,0
150	Cub 7	OC1-225	14,4	11	0,1	9,36	70	2225	18	2	34,4
151	Cub 8	OC2-225	14,4	11	0,1	9,36	70	2225	18	0	0,0
152	Forro costado	OF1-225	14,4	0,2	3	3,34	70	2225	18	1	38,4
153	Forro costado	OF2-225	14,4	0,2	3	3,34	70	2225	18	3	38,4
154	Mamparo trans	OT1-225	0,2	11	6	3,65	70	2225	18	4	110,0
155	Cub 9	OC1-216	14,4	11	0,1	9,45	71	2216	18	2	34,4
156	Cub 10	OC2-216	14,4	11	0,1	9,14	71	2216	18	0	0,0
157	Forro costado	OF1-216	14,4	0,2	3	3,34	71	2216	18	1	38,4
158	Forro costado	OF2-216	14,4	0,2	3	3,34	71	2216	18	3	38,4
159	Mamparo trans	OT1-216	0,2	11	6	3,65	71	2216	18	4	108,0
160	Cub 9	OC1-226	14,4	11	0,1	9,36	72	2226	18	2	34,4
161	Cub 10	OC2-226	14,4	11	0,1	9,06	72	2226	18	0	0,0
162	Forro costado	OF1-226	14,4	0,2	3	3,34	72	2226	18	1	38,4
163	Forro costado	OF2-226	14,4	0,2	3	3,34	72	2226	18	3	38,4
164	Mamparo trans	OT1-226	0,2	11	6	3,65	72	2226	18	4	108,0
165	Cubierta superior	OC1-217	18,4	11	0,1	10,95	73	2217	24	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

166	Forro costado	0F1-217	14	0,2	3	3,15	73	2217	24	1	37,6
167	Forro costado	1F2-217	3	3	3	0,29	73	2217	24	2	22,4
168	Forro costado	0F3-217	0,1	6,5	3	1,32	73	2217	24	3	26,0
169	Mamparo trans	0T1-217	0,1	9,5	3	1,93	73	2217	24	2	52,0
170	Cubierta superior	0C1-227	18,4	11	0,1	10,84	74	2227	24	0	0,0
171	Forro costado	0F1-227	14	0,2	3	3,15	74	2227	24	1	37,6
172	Forro costado	1F2-227	3	3	3	0,29	74	2227	24	2	22,4
173	Forro costado	0F3-227	0,1	6,5	3	1,32	74	2227	24	3	26,0
174	Mamparo trans	0T1-227	0,1	9,5	3	1,93	74	2227	24	2	52,0
175	Doble fondo	0D1-111	12,5	11	1,4	20,33	53	2111	14	0	0,0
176	Forro curvo	1F1-111	12,5	11	1,4	18,35	53	2111	14	1	286,7
177	Doble fondo	0D1-121	12,5	11	1,4	19,26	54	2121	14	0	0,0
178	Forro curvo	1F1-121	12,5	11	1,4	18,35	54	2121	14	1	262,3
179	Cubierta 2	0C1-112	19,4	12	0,1	25,15	55	2112	14	0	0,0
180	Mamparo trans	0T1-112	0,1	12	4,7	4,15	55	2112	14	1	40,0
181	Doble costado	0L1-112	11,2	0,1	4,7	4,53	55	2112	14	2	53,1
182	Doble costado	0L2-112	8,4	0,1	4,7	3,34	55	2112	14	2	44,6
183	Forro lateral	1F1-112	12,5	0,1	4,7	6,09	55	2112	14	3	49,5
184	Forro fondo	1F2-112	6,9	12	4,7	10,03	55	2112	14	4	43,4
185	Cubierta 2	0C1-122	19,4	12	0,1	25,15	56	2122	14	0	0,0
186	Mamparo trans	0T1-122	0,1	12	4,7	4,15	56	2122	14	1	40,0
187	Doble costado	0L1-122	11,2	0,1	4,7	4,53	56	2122	14	2	53,1
188	Doble costado	0L2-122	8,4	0,1	4,7	3,34	56	2122	14	2	44,6
189	Forro lateral	1F1-122	12,5	0,1	4,7	6,09	56	2122	14	3	49,5
190	Forro fondo	1F2-122	6,9	12	4,7	10,03	56	2122	14	4	43,4
191	Cub 4	0C1-113	19,4	12	0,1	20,78	57	2113	15	3	44,6
192	Cub 3	0C2-113	19,4	12	0,1	25,62	57	2113	15	0	0,0
193	Mamparo trans	0T1-113	0,1	12	2,7	3,46	57	2113	15	1	44,0
194	Forro	0F1-113	19,4	0,1	5	12,27	57	2113	15	2	71,6
195	Cub 4	0C1-123	19,4	12	0,1	20,67	58	2123	15	3	44,6
196	Cub 3	0C2-123	19,4	12	0,1	25,50	58	2123	15	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

197	Mamparo trans	OT1-123	0,1	12	2,7	3,46	58	2123	15	1	44,0
198	Forro	OF1-123	19,4	0,1	5	12,27	58	2123	15	2	71,6
199	Cub 5	OC1-114	19,4	12	0,1	13,49	59	2114	15	0	0,0
200	Cub 6	OC2-114	15,8	12	0,1	10,69	59	2114	15	4	42,2
201	Forro costado	OF1-114	19,4	0,1	3	5,73	59	2114	15	5	43,6
202	Forro costado	OF2-114	10,8	0,1	3	3,24	59	2114	15	1	25,4
203	Forro costado	1F3-114	3	3	3	1,29	59	2114	15	2	22,4
204	Forro costado	OF4-114	0,1	4,5	3	1,23	59	2114	15	3	22,0
205	Cub 5	OC1-114	19,4	12	0,1	13,38	60	2124	15	0	0,0
206	Cub 6	OC2-114	15,8	12	0,1	10,60	60	2124	15	4	42,2
207	Forro costado	OF1-114	19,4	0,1	3	5,73	60	2124	15	5	43,6
208	Forro costado	OF2-114	10,8	0,1	3	3,24	60	2124	15	1	25,4
209	Forro costado	1F3-114	3	3	3	1,29	60	2124	15	2	22,4
210	Forro costado	OF4-114	0,1	4,5	3	1,23	60	2124	15	3	22,0
211	Cub 7	OC1-115	11	11	0,1	7,31	65	2115	17	3	15,9
212	Cub 8	OC2-115	13,8	11	0,1	8,55	65	2115	17	0	0,0
213	Forro costado	OF1-115	8	0,1	3	2,40	65	2115	17	4	18,9
214	Forro costado curvo	OF2-115	3	3	3	1,29	65	2115	17	5	22,4
215	Forro popa	OF3-115	0,1	6,5	3	1,78	65	2115	17	6	26,0
216	Forro costado	OF4-115	5,4	3	3	1,62	65	2115	17	1	0,4
217	Forro popa	OF5-115	0,1	6,5	3	1,78	65	2115	17	2	46,9
218	Cub 7	OC1-125	11	11	0,1	7,24	66	2125	17	3	15,9
219	Cub 8	OC2-125	13,8	11	0,1	8,47	66	2125	17	0	0,0
220	Forro costado	OF1-125	8	0,1	3	2,40	66	2125	17	4	18,9
221	Forro costado curvo	1F2-125	3	3	3	1,29	66	2125	17	5	22,4
222	Forro popa	OF3-125	0,1	6,5	3	1,78	66	2125	17	6	26,0
223	Forro costado	OF4-125	5,4	3	3	1,62	66	2125	17	1	0,4
224	Forro popa	OF5-125	0,1	6,5	3	1,78	66	2125	17	2	45,9
225	Cub 9	OC1-116	8,2	11	0,1	5,15	67	2116	17	3	22,4
226	Cub 10	OC2-116	5,4	11	0,1	3,29	67	2116	17	0	0,0
227	Forro costado	1F1-116	5,4	3	3	1,55	67	2116	17	4	15,2

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

228	Forro popa	0F2-116	0,1	6,5	3	1,78	67	2116	17	5	6,0
229	Forro costado	0F3-116	2,6	3	3	0,71	67	2116	17	1	9,4
230	Forro popa	1F4-116	0,1	6,5	3	1,78	67	2116	17	2	46,9
231	Cub 9	0C1-126	8,2	11	0,1	5,10	68	2126	17	3	22,4
232	Cub 10	0C2-126	5,4	11	0,1	3,26	68	2126	17	0	0,0
233	Forro costado	1F1-126	5,4	0,1	3	1,55	68	2126	17	4	15,2
234	Forro popa	0F2-126	0,1	6,5	3	1,78	68	2126	17	5	788,3
235	Forro costado	1F3-126	2,6	3	3	0,71	68	2126	17	1	9,4
236	Forro popa	0F4-126	0,1	6,5	3	1,78	68	2126	17	2	46,9
237	Forro curvo	1F1-011	14,7	12	5,7	37,17	61	2011	16	4	170,1
238	Cub 2	0C1-011	13,8	12	0,1	22,58	61	2011	16	2	24,0
239	Cub 3	0C2-011	14,1	12	0,1	22,86	61	2011	16	0	0,0
240	Mamparo trans	0T1-011	0,1	21	2,3	5,25	61	2011	16	3	44,0
241	Mamparo trans	0T2-011	0,1	12	2,7	3,34	61	2011	16	1	44,0
242	Forro curvo	1F1-021	14,7	12	5,7	37,17	62	2021	16	4	170,1
243	Cub 2	0C1-021	13,8	12	0,1	22,58	62	2021	16	2	24,0
244	Cub 3	0C2-021	14,1	12	0,1	22,86	62	2021	16	0	0,0
245	Mamparo trans	0T1-021	0,1	21	2,3	5,25	62	2021	16	3	43,0
246	Mamparo trans	0T2-021	0,1	12	2,7	3,34	62	2021	16	1	43,0
247	Forro curvo	1F1-012	13,65	12	6	28,48	63	2012	16	4	116,8
248	Cub 4	0C1-012	13,65	12	0,1	22,44	63	2012	16	2	24,0
249	Cub 5	0C2-012	13,12	12	0,1	21,93	63	2012	16	0	0,0
250	Mamparo trans	0T1-012	0,1	21	3	6,29	63	2012	16	3	44,0
251	Mamparo trans	0T2-012	0,1	12	3	3,60	63	2012	16	1	44,0
252	Forro curvo	1F1-022	13,65	12	6	28,48	64	2022	16	4	116,8
253	Cub 4	0C1-022	13,65	12	0,1	22,44	64	2022	16	2	24,0
254	Cub 5	0C2-022	13,12	12	0,1	21,93	64	2022	16	0	0,0
255	Mamparo trans	0T1-022	0,1	21	3	6,29	64	2022	16	3	43,0
256	Mamparo trans	0T2-022	0,1	12	3	3,60	64	2022	16	1	43,0
257	Doble fondo	0D1-511	18,7	10,7	1,5	29,90	21	2511	6	0	0,0
258	Forro	1F1-511	18,7	10,7	1,5	27,64	21	2511	6	1	457,5

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

259	Doble fondo	OD1-521	18,7	10,7	1,5	28,30	22	2521	6	0	0,0
260	Forro	1F1-521	18,7	10,7	1,5	27,64	22	2521	6	1	457,5
261	Cubierta 2	OC1-512	18,7	12	0,1	24,48	23	2512	6	0	0,0
262	Mamparo trans	OT1-512	0,1	12	4,7	5,04	23	2512	6	1	44,0
263	Doble casco	OL1-512	7,7	0,1	4,7	3,76	23	2512	6	2	33,8
264	Doble casco	OL2-512	11	0,1	4,7	4,90	23	2512	6	2	43,3
265	Mamparo long	OL3-512	11	0,1	4,7	5,27	23	2512	6	2	43,3
266	Mamparo long	OL4-512	11	0,1	4,7	5,27	23	2512	6	2	43,3
267	Mamparo long	OL5-512	11	0,1	4,7	5,27	23	2512	6	2	38,7
268	Forro	1F1-512	18,7	0,1	4,7	11,48	23	2512	6	3	70,9
269	Cubierta 2	OC1-522	18,7	12	0,1	24,37	24	2522	6	0	0,0
270	Mamparo trans	OT1-522	0,1	12	4,7	5,04	24	2522	6	1	44,0
271	Doble casco	OL1-522	7,7	0,1	4,7	3,76	24	2522	6	2	33,8
272	Doble casco	OL2-522	11	0,1	4,7	4,90	24	2522	6	2	43,3
273	Mamparo long	OL3-522	11	0,1	4,7	5,27	24	2522	6	2	43,3
274	Mamparo long	OL4-522	11	0,1	4,7	5,27	24	2522	6	2	38,7
275	Forro	1F1-522	18,7	0,1	4,7	11,48	24	2522	6	3	70,9
276	Cub 4	OC1-513	18,7	12	0,1	20,11	25	2513	7	3	44,6
277	Cub 3	OC2-513	18,7	12	0,1	24,94	25	2513	7	0	0,0
278	Mamparo trans	OT1-513	0,1	12	2,7	3,46	25	2513	7	1	44,0
279	Forro	OF1-513	18,7	0,1	5	11,88	25	2513	7	2	70,2
280	Cub 4	OC1-523	18,7	12	0,1	19,99	26	2523	7	3	44,6
281	Cub 3	OC2-523	18,7	12	0,1	24,82	26	2523	7	0	0,0
282	Mamparo trans	OT1-523	0,1	12	2,7	3,46	26	2523	7	1	44,0
283	Forro	OF1-513	18,7	0,1	5	11,88	26	2523	7	2	70,2
284	Cub 5	OC1-514	18,7	12	0,1	13,08	27	2514	7	2	46,5
285	Cub 6	OC2-514	18,7	12	0,1	13,08	27	2514	7	0	0,0
286	Forro costado	OF1-514	18,7	0,2	6	11,07	27	2514	7	1	43,2
287	Cub 5	OC1-524	18,7	12	0,1	12,97	28	2524	7	2	46,5
288	Cub 6	OC2-524	18,7	12	0,1	12,97	28	2524	7	0	0,0
289	Forro costado	OF1-524	18,7	0,2	6	11,07	28	2524	7	1	43,2

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

290	Cub 7	OC1-515	18,7	11	0,1	12,18	87	2515	21	2	31,8
291	Cub 8	OC2-515	18,7	11	0,1	12,18	87	2515	21	0	0,0
292	Forro costado	OF1-515	18,7	0,2	3	5,54	87	2515	21	1	33,8
293	Forro costado	OF2-515	18,7	0,2	3	5,54	87	2515	21	3	33,8
294	Cub 7	OC1-525	18,7	11	0,1	12,07	88	2525	21	2	31,8
295	Cub 8	OC2-525	18,7	11	0,1	12,07	88	2525	21	0	0,0
296	Forro costado	OF1-525	18,7	0,2	3	5,54	88	2525	21	1	33,8
297	Forro costado	OF2-525	18,7	0,2	3	5,54	88	2525	21	3	33,8
298	Cub 9	OC1-516	18,7	11	0,1	12,18	89	2516	21	2	40,8
299	Cub 10	OC2-516	18,7	11	0,1	12,18	89	2516	21	0	0,0
300	Forro costado	OF1-516	18,7	0,2	3	5,54	89	2516	21	1	43,2
301	Forro costado	OF2-516	18,7	0,2	3	5,54	89	2516	21	3	43,2
302	Cub 9	OC1-526	18,7	11	0,1	12,07	90	2526	21	2	40,8
303	Cub 10	OC2-526	18,7	11	0,1	12,07	90	2526	21	0	0,0
304	Forro costado	OF1-526	18,7	0,2	3	5,54	90	2526	21	1	43,2
305	Forro costado	OF2-526	18,7	0,2	3	5,54	90	2526	21	3	43,2
306	Cubierta superior	OC1-517	19,8	11	0,1	12,79	91	2517	27	0	0,0
307	Forro costado	OF1-517	15,9	0,2	3	4,70	91	2517	27	1	37,6
308	Forro costado	1F2-517	3	3	3	1,29	91	2517	27	2	22,4
309	Forro costado	OF3-517	0,1	6,5	3	1,78	91	2517	27	3	26,0
310	Cubierta superior	OC1-517	19,8	11	0,1	12,67	92	2527	27	0	0,0
311	Forro costado	OF1-517	15,9	0,2	3	4,70	92	2527	27	1	37,6
312	Forro costado	1F2-517	3	3	3	1,29	92	2527	27	2	22,4
313	Forro costado	OF3-517	0,1	6,5	3	1,78	92	2527	27	3	26,0
314	Doble fondo	OD1-611	17,2	9,09	1,5	29,55	13	2611	4	0	0,0
315	Forro	1F1-611	17,2	9,09	1,5	19,11	13	2611	4	1	400,7
316	Doble fondo	OD1-621	17,2	9,09	1,5	28,08	14	2621	4	0	0,0
317	Forro	1F1-621	17,2	9,09	1,5	19,11	14	2621	4	1	400,7
318	Cubierta 2	OC1-612	17,2	11,4	0,1	22,00	15	2612	4	0	0,0
319	Doble costado	OL1-612	5,8	0,1	4,7	1,27	15	2612	4	2	17,4
320	Doble costado	OL2-612	11,2	0,1	4,7	4,79	15	2612	4	2	31,2

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

321	Mamparo trans	OT1-612	0,1	10,5	4,7	4,41	15	2612	4	1	41,0
322	Mamparo trans	OT2-612	0,1	11,4	4,7	4,78	15	2612	4	1	42,8
323	Forro	1F1-612	17,2	0,1	4,7	2,15	15	2612	4	3	64,7
324	Cubierta 2	OC1-622	17,2	11,4	0,1	21,89	16	2622	4	0	0,0
325	Doble costado	OL1-622	5,8	0,1	4,7	1,27	16	2622	4	2	17,4
326	Doble costado	OL2-622	11,2	0,1	4,7	4,79	16	2622	4	2	31,2
327	Mamparo trans	OT1-622	0,1	10,5	4,7	4,41	16	2622	4	1	41,0
328	Mamparo trans	OT2-622	0,1	11,4	4,7	4,78	16	2622	4	1	42,8
329	Forro	1F1-622	17,2	0,1	4,7	2,15	16	2622	4	3	64,7
330	Cub 3	OC1-613	17,2	12	0,1	23,48	17	2613	5	0	0,0
331	Cub 4	OC2-613	17,2	12	0,1	18,65	17	2613	5	3	39,2
332	Forro costado	OF1-613	17,2	0,2	5,7	12,08	17	2613	5	2	86,5
333	Mamparo trans	OT1-613	0,2	12	2,7	2,87	17	2613	5	1	44,0
334	Mamparo trans	OT2-613	0,2	12	5,7	6,00	17	2613	5	1	44,0
335	Cub 3	OC1-623	17,2	12	0,1	23,38	18	2623	5	0	0,0
336	Cub 4	OC2-623	17,2	12	0,1	18,55	18	2623	5	3	39,2
337	Forro costado	OF1-623	17,2	0,2	5,7	12,08	18	2623	5	2	86,5
338	Mamparo trans	OT1-623	0,2	12	2,7	2,87	18	2623	5	1	44,0
339	Mamparo trans	OT2-623	0,2	12	5,7	6,00	18	2623	5	1	44,0
340	Cub 5	OC1-614	17,2	12	0,1	12,19	19	2614	5	3	87,5
341	Cub 6	OC2-614	17,2	12	0,1	12,19	19	2614	5	0	0,0
342	Forro costado	OF1-614	17,2	0,2	6	10,25	19	2614	5	2	66,1
343	Mamparo trans	OT1-614	0,2	12	6	6,26	19	2614	5	1	44,0
344	Cub 5	OC1-624	17,2	12	0,1	12,09	20	2624	5	3	87,5
345	Cub 6	OC2-624	17,2	12	0,1	12,09	20	2624	5	0	0,0
346	Forro costado	OF1-624	17,2	0,2	6	10,25	20	2624	5	2	66,1
347	Mamparo trans	OT1-624	0,2	12	6	6,26	20	2624	5	1	44,0
348	Cub 7	OC1-615	17,2	11	0,1	10,93	93	2615	22	2	37,8
349	Cub 8	OC2-615	17,2	11	0,1	10,93	93	2615	22	0	0,0
350	Forro costado	OF1-615	17,2	0,2	3	3,91	93	2615	22	1	40,2
351	Forro costado	OF2-615	17,2	0,2	3	3,91	93	2615	22	3	40,2

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

352	Mamparo trans	OT1-615	0,2	11	6	5,73	93	2615	22	4	108,0
353	Cub 7	OC1-625	17,2	11	0,1	10,83	94	2625	22	2	37,8
354	Cub 8	OC2-625	17,2	11	0,1	10,83	94	2625	22	0	0,0
355	Forro costado	OF1-625	17,2	0,2	3	3,91	94	2625	22	1	40,2
356	Forro costado	OF2-625	17,2	0,2	3	3,91	94	2625	22	3	40,2
357	Mamparo trans	OT1-625	0,2	11	6	5,73	94	2625	22	4	108,0
358	Cubierta 9	OC1-616	17,2	11	0,1	10,93	95	2616	22	4	59,6
359	Cubierta 10	OC2-616	19,6	11	0,1	12,20	95	2616	22	0	0,0
360	Forro costado	OF1-616	17,2	0,1	3	3,91	95	2616	22	5	38,4
361	Forro costado	OF2-616	13,8	11	3	3,22	95	2616	22	1	32,4
362	Forro curvo	1F3-616	3	3	3	0,29	95	2616	22	2	22,4
363	Forro proa	OF4-616	0,1	6,5	3	1,32	95	2616	22	3	26,0
364	Mamparo trans	OT1-616	0,1	9,5	3	2,48	95	2616	22	6	50,0
365	Cubierta 9	OC1-626	17,2	11	0,1	10,93	96	2626	22	4	59,6
366	Cubierta 10	OC2-626	19,6	11	0,1	12,20	96	2626	22	0	0,0
367	Forro costado	OF1-626	17,2	0,1	3	3,91	96	2626	22	5	38,4
368	Forro costado	OF2-626	13,8	11	3	1,04	96	2626	22	1	32,4
369	Forro curvo	1F3-626	3	3	3	0,61	96	2626	22	2	22,4
370	Forro proa	OF4-626	0,1	6,5	3	1,69	96	2626	22	3	26,0
371	Mamparo trans	OT1-626	0,1	9,5	3	2,48	96	2626	22	6	50,0
372	Forro fondo	1F1-711	16,8	6,3	1,4	13,59	7	2711	3	1	152,5
373	Forro costado	1F2-711	16,8	5,1	4,7	6,47	7	2711	3	5	120,3
374	Doble fondo	OD1-711	16,8	6,3	1,4	16,74	7	2711	3	0	0,0
375	Cubierta 2	OC1-711	16,8	10,4	0,1	17,32	7	2711	3	4	80,4
376	Mamparo trans	OT1-711	0,1	8,3	4,7	3,48	7	2711	3	2	26,6
377	Mamparo tanque	OT2-711	0,1	3,5	4,7	1,47	7	2711	3	2	11,0
378	Mamparo trans	OT3-711	0,1	5,2	4,7	2,18	7	2711	3	2	16,4
379	Doble costado	OL1-711	5,6	0,1	4,7	2,70	7	2711	3	3	34,1
380	Doble costado	OL2-711	11,2	0,1	4,7	5,40	7	2711	3	3	94,2
381	Forro fondo	1F1-721	16,8	6,3	1,4	13,59	8	2721	3	1	152,5
382	Forro costado	1F2-721	16,8	5,1	4,7	6,47	8	2721	3	5	120,3

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

383	Doble fondo	OD1-721	16,8	6,3	1,4	15,30	8	2721	3	0	0,0
384	Cubierta 2	OC1-721	16,8	10,4	0,1	17,21	8	2721	3	4	79,4
385	Mamparo trans	OT1-721	0,1	8,3	4,7	3,48	8	2721	3	2	26,6
386	Mamparo tanque	OT2-721	0,1	3,5	4,7	1,47	8	2721	3	2	11,0
387	Mamparo trans	OT3-721	0,1	5,2	4,7	2,18	8	2721	3	2	16,4
388	Doble costado	OL1-721	5,6	0,1	4,7	2,70	8	2721	3	3	34,1
389	Doble costado	OL2-721	11,2	0,1	4,7	5,40	8	2721	3	3	94,2
390	Cub 3	OC1-712	16,8	10,08	0,1	18,18	9	2712	3	0	0,0
391	Cub 4	OC2-712	16,8	10,44	0,1	15,18	9	2712	3	3	37,4
392	Forro costado	OF1-712	16,8	0,2	5,7	11,76	9	2712	3	2	65,0
393	Mamparo trans	OT1-712	0,2	8,96	2,7	2,15	9	2712	3	1	31,0
394	Mamparo trans	OT2-712	0,2	9,5	2,7	2,27	9	2712	3	1	27,8
395	Mamparo trans	OT2-713	0,2	6,94	5,7	3,47	9	2712	3	1	17,7
396	Cub 3	OC1-722	16,8	10,08	0,1	18,07	10	2722	3	0	0,0
397	Cub 4	OC2-722	16,8	10,44	0,1	15,07	10	2722	3	3	37,4
398	Forro costado	OF1-722	16,8	0,2	5,7	11,76	10	2722	3	2	65,0
399	Mamparo trans	OT1-722	0,2	8,96	2,7	2,15	10	2722	3	1	31,0
400	Mamparo trans	OT2-722	0,2	9,5	2,7	2,27	10	2722	3	1	27,8
401	Mamparo trans	OT2-722	0,2	6,94	5,7	3,47	10	2722	3	4	17,7
402	Cub 5	OC1-713	16,8	12	0,1	11,65	11	2713	3	2	42,7
403	Cub 6	OC2-713	16,8	12	0,1	11,65	11	2713	3	0	0,0
404	Forro costado	OF1-713	16,8	0,2	6	10,03	11	2713	3	1	39,4
405	Cub 5	OC1-723	16,8	12	0,1	11,54	12	2723	3	2	42,7
406	Cub 6	OC2-723	16,8	12	0,1	11,54	12	2723	3	0	0,0
407	Forro costado	OF1-723	16,8	0,2	6	10,03	12	2723	3	1	39,4
408	Cubierta 7	OC1-714	16,8	11	0,1	10,72	97	2714	23	4	58,8
409	Cubierta 8	OC2-714	16,6	11	0,1	10,61	97	2714	23	0	0,0
410	Forro costado	OF1-714	16,8	0,1	3	3,89	97	2714	23	5	37,6
411	Forro costado	OF2-714	10,8	11	3	2,47	97	2714	23	1	26,4
412	Forro curvo	1F3-714	3	3	3	0,61	97	2714	23	2	22,4
413	Forro proa	OF4-714	0,1	6,5	3	1,32	97	2714	23	3	26,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

414	Cubierta 7	OC1-724	16,8	11	0,1	10,62	98	2724	23	4	59,6
415	Cubierta 8	OC2-724	16,6	11	0,1	10,51	98	2724	23	0	0,0
416	Forro costado	OF1-724	16,8	0,1	3	3,89	98	2724	23	5	38,4
417	Forro costado	OF2-724	10,8	11	3	2,47	98	2724	23	1	32,4
418	Forro curvo	1F3-724	3	3	3	0,61	98	2724	23	2	22,4
419	Forro proa	OF4-724	0,1	6,5	3	1,32	98	2724	23	3	26,0
420	Cubierta 9	OC1-715	11	11	0,1	6,73	99	2715	23	0	0,0
421	Forro lateral	1F1-715	8,2	3	3	1,80	99	2715	23	1	21,7
422	Forro proa	OF2-715	0,1	6,5	3	1,32	99	2715	23	2	26,0
423	Cubierta 9	OC1-725	11	11	0,1	6,67	100	2725	23	0	0,0
424	Forro lateral	1F1-725	8,2	3	3	1,80	100	2725	23	1	21,7
425	Forro proa	OF2-725	0,1	6,5	3	1,32	100	2725	23	2	26,0
426	Forro fondo	1F1-801	12,6	3,1	1,4	5,62	4	2801	2	1	83,2
427	Forro costado	1F2-801	12,6	2	4,7	7,96	4	2801	2	5	57,2
428	Forro costado	1F3-801	12,6	2	4,7	7,96	4	2801	2	5	57,2
429	Doble fondo	OD1-801	12,6	3,1	1,4	5,75	4	2801	2	0	0,0
430	Cubierta 2	OC1-801	12,6	5,1	0,1	7,77	4	2801	2	4	81,0
431	Mamparo trans	OT1-801	0,1	1,8	4,7	0,72	4	2801	2	2	10,9
432	Doble costado	OL1-801	12,6	0,1	4,7	5,22	4	2801	2	3	58,7
433	Doble costado	OL2-801	12,6	0,1	4,7	5,22	4	2801	2	3	58,7
434	Cubierta 3	OC1-802	12,6	5,87	0,1	9,63	5	2802	2	0	0,0
435	Cubierta 4	OC2-802	12,6	6,88	0,1	7,95	5	2802	2	2	23,8
436	Forro costado	OF1-802	12,6	4,555	5,7	8,89	5	2802	2	3	89,7
437	Forro costado	OF2-802	12,6	4,555	5,7	8,89	5	2802	2	3	89,7
438	Mamparo trans	OT1-802	0,1	3,69	5,7	1,85	5	2802	2	1	15,3
439	Cubierta 5	OC1-802	12,6	16,26	0,1	22,94	6	2803	2	0	0,0
440	Cubierta 6	OC2-802	12,6	18,96	0,1	20,03	6	2803	2	2	46,6
441	Forro costado	OF1-802	12,6	0,1	6	9,22	6	2803	2	3	90,3
442	Forro costado	OF2-802	12,6	0,1	6	9,22	6	2803	2	3	90,3
443	Mamparo trans	OT1-802	0,1	14,32	6	7,47	6	2803	2	1	33,0
444	Cubierta 9	OC1-814	11	11	0,1	6,43	101	2814	23	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

445	Forro lateral	1F1-814	5,4	3	3	0,62	101	2814	23	1	16,1
446	Forro proa	0F2-814	0,1	6,5	3	0,96	101	2814	23	2	26,0
447	Cubierta 9	0C1-824	11	11	0,1	6,43	102	2824	23	0	0,0
448	Forro lateral	1F1-824	5,4	3	3	0,62	102	2824	23	1	16,1
449	Forro proa	0F2-824	0,1	6,5	3	0,96	102	2824	23	2	26,0
450	Bulbo de proa	1F1-901	15,9	7,4	6	144,09	1	2901	1	0	0,0
451	Forro curvo	1F1-902	11,57	2,76	5,7	17,17	2	2902	1	1	65,4
452	Cubierta 3	0C1-902	9,17	4,64	0,1	6,23	2	2902	1	0	0,0
453	Cubierta 4	0C2-902	11,57	7,4	0,1	8,27	2	2902	1	2	64,2
454	Forro curvo	1F1-903	15,98	3,82	5,7	6,23	3	2903	1	1	87,4
455	Cubierta 5	0C1-903	13,36	10,5	0,1	16,30	3	2903	1	0	0,0
456	Cubierta 6	0C2-903	15,98	14,32	0,1	19,68	3	2903	1	2	101,0

3 ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA CASO 2

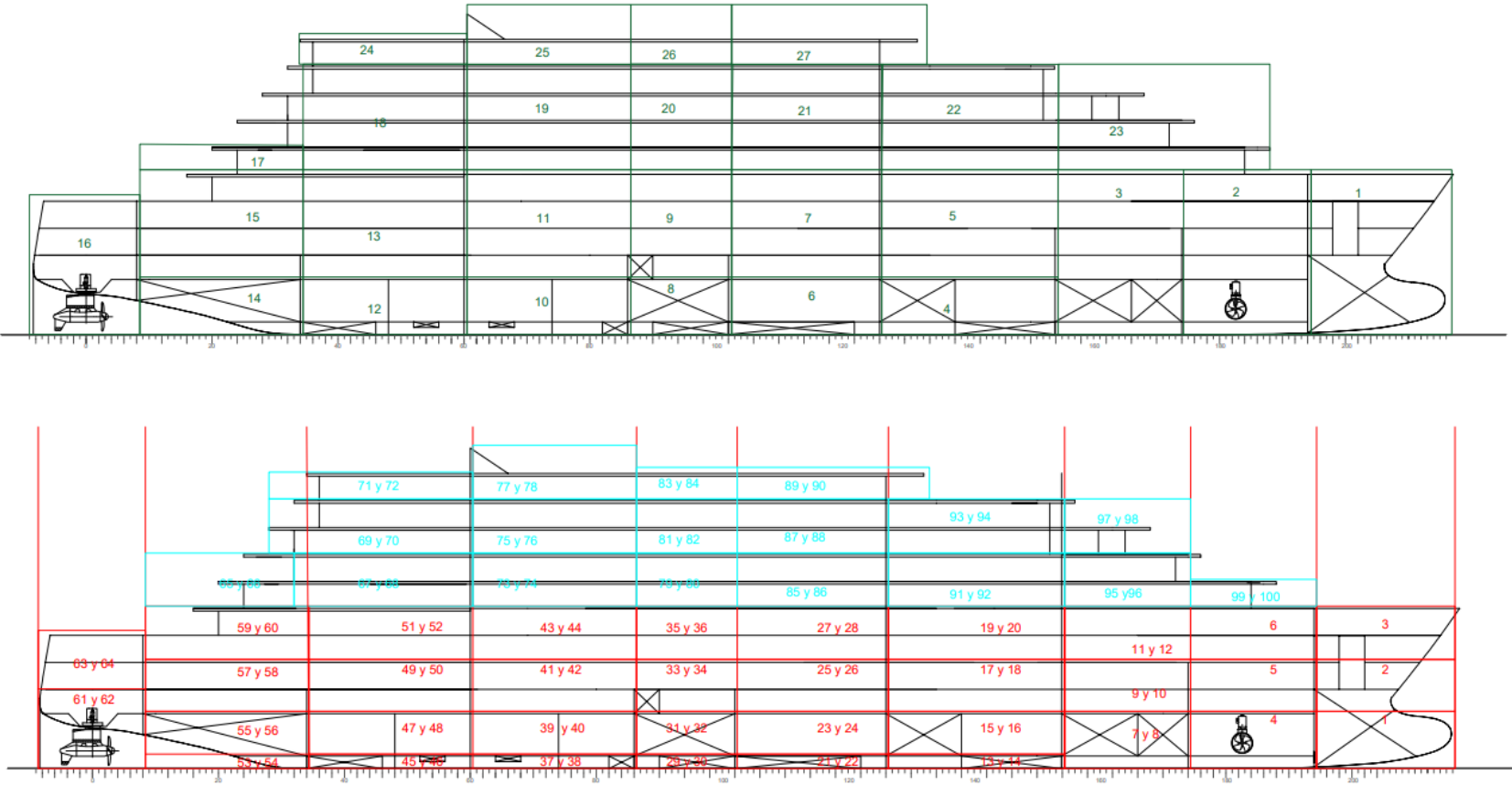


Figura 3: Despiece del buque caso 2. Elaboración propia.

Tabla 3: Estrategia Constructiva caso 2

BLOQUES

IDBloque	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	Peso +30% (t)	Secuencia		
1	1001	15,6	15	17,8	141,676463	184,1794016	15		
2	1102	14	19,4	17,8	203,957521	265,144777	14		
3	1101	14	24	17,8	225,111363	292,6447724	13		
4	1501	19,6	20,8	6,1	214,986242	279,4821142	4		
5	1201	19,6	24	11,7	214,564447	278,9337808	12		
6	1602	16,8	24	6,1	199,562711	259,4315243	3		
7	1302	16,8	24	11,7	194,836065	253,2868845	11		
8	1601	11,2	24	6,1	155,067346	201,5875498	2		
9	1301	11,2	24	11,7	128,679222	167,2829885	10		
10	1701	18,2	24	6,1	247,24996	321,424948	1		
11	1402	18,2	24	11,7	217,782819	283,1176652	9		
12	1801	18,2	24	6,1	247,24996	321,424948	0		
13	1401	18,2	24	11,7	234,250419	304,5255452	8		
14	1901	18,2	24	5	180,279067	234,3627876	5		
15	1502	18,2	24	6	187,319211	243,5149744	7		
16	1202	11,9	24	11,1	285,142681	370,685485	6		
17	1103	10,1	22	3	12,6892765	16,4960595	16		
18	1203	18,2	22	12	158,70893	206,3216094	17		
19	1403	18,2	22	12	124,150848	161,3961024	18		
20	1603	11,2	22	12	77,32336	100,520368	19		
21	1204	16,8	22	12	129,147216	167,8913808	20		
22	1304	19,6	22	6	135,573075	176,2449981	21		
23	1504	14	22	9	80,2752885	104,3578751	22		
24	1303	18,2	22	3	34,8980274	45,36743567	23		
25	1503	18,2	22	3	31,037712	40,3490256	24		
26	1703	11,2	22	3	19,33084	25,130092	25		
27	1404	20	22	3	33,7542214	43,88048787	26		
SUBBLOQUES									
IDSubBloque	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	Peso +20% (t)	IDBloque	Secuencia	Cordón de soldadura (m)
1	2901	15,6	3,6	6,1	69,92	83,90	1	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

2	2902	11,8	7,4	5,7	28,96	34,76	1	1	70,8
3	2903	16,2	15	6	42,79	51,35	1	2	97,2
4	2801	14	11,2	6,1	65,08	78,09	2	0	0,0
5	2802	14	14,6	5,7	60,20	72,24	2	1	81,4
6	2803	14	19,4	6	78,68	94,42	2	2	70,7
7	2711	14	7,4	6,1	48,27	57,93	3	0	0,0
8	2721	14	7,4	6,1	47,07	56,49	3	1	135,9
9	2712	14	12	5,7	41,21	49,45	3	2	100,9
10	2722	14	12	5,7	38,69	46,42	3	3	125,2
11	2713	14	11	6	25,02	30,02	3	4	60,8
12	2723	14	11	6	24,85	29,82	3	5	59,4
13	2611	19,6	9,17	1,4	50,93	61,12	4	0	0,0
14	2621	19,6	9,17	1,4	49,25	59,10	4	1	92,0
15	2612	19,6	10,4	4,7	59,38	71,26	4	2	159,8
16	2622	19,6	10,4	4,7	55,42	66,50	4	3	155,5
17	2613	19,6	12	5,7	67,92	81,51	5	0	0,0
18	2623	19,6	12	5,7	67,68	81,22	5	1	105,9
19	2614	19,6	12	6	39,60	47,52	5	2	43,1
20	2624	19,6	12	6	39,36	47,23	5	3	127,1
21	2511	16,8	12	1,4	56,29	67,55	6	0	0,0
22	2521	16,8	12	1,4	53,13	63,76	6	1	84,0
23	2512	16,8	12	4,7	45,12	54,15	6	2	64,1
24	2522	16,8	12	4,7	45,02	54,02	6	3	76,0
25	2513	16,8	12	5,7	58,80	70,56	7	0	0,0
26	2523	16,8	12	5,7	58,59	70,31	7	1	93,3
27	2514	16,8	12	6	38,26	45,91	7	2	60,4
28	2524	16,8	12	6	39,19	47,02	7	3	151,3
29	2411	11,2	12	1,4	36,67	44,01	8	0	0,0
30	2421	11,2	12	1,4	35,71	42,86	8	1	56,0
31	2412	11,2	12	4,7	44,02	52,82	8	2	125,8
32	2422	11,2	12	4,7	38,66	46,39	8	3	100,6

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

33	2413	11,2	12	5,7	42,25	50,70	9	0	0,0
34	2423	11,2	12	5,7	41,31	49,58	9	1	59,2
35	2414	11,2	12	6	22,63	27,15	9	2	24,6
36	2424	11,2	12	6	22,49	26,99	9	3	72,6
37	2311	18,2	12	1,4	66,55	79,86	10	0	0,0
38	2321	18,2	12	1,4	64,99	77,99	10	1	109,2
39	2312	18,2	12	4,7	57,85	69,43	10	2	102,3
40	2322	18,2	12	4,7	57,85	69,43	10	3	115,3
41	2313	18,2	12	5,7	72,75	87,29	11	0	0,0
42	2323	18,2	12	5,7	72,52	87,03	11	1	93,6
43	2314	18,2	12	6	36,37	43,64	11	2	39,8
44	2324	18,2	12	6	36,15	43,37	11	3	117,4
45	2211	18,2	12	1,4	66,55	79,86	12	0	0,0
46	2221	18,2	12	1,4	64,99	77,99	12	1	109,2
47	2212	18,2	12	4,7	57,85	69,43	12	2	102,3
48	2222	18,2	12	4,7	57,85	69,43	12	3	115,3
49	2213	18,2	12	5,7	75,29	90,35	13	0	0,0
50	2223	18,2	12	5,7	75,07	90,08	13	1	107,3
51	2214	18,2	12	6	41,49	49,79	13	2	63,8
52	2224	18,2	12	6	42,40	50,88	13	3	161,0
53	2111	8,17	12	1,4	24,73	29,68	14	0	0,0
54	2121	8,17	12	1,4	24,73	29,68	14	1	41,5
55	2112	18,2	12	6,1	59,62	71,55	14	2	63,3
56	2122	18,2	12	6,1	71,19	85,43	14	3	76,2
57	2113	18,2	12	5,7	63,21	75,85	15	0	0,0
58	2123	18,2	12	5,7	61,58	73,89	15	1	123,0
59	2114	18,2	12	6	31,36	37,63	15	2	39,8
60	2124	18,2	12	6	31,17	37,41	15	3	79,8
61	2011	11,9	12	5	74,82	89,79	16	0	0,0
62	2021	11,9	12	5	74,82	89,79	16	1	92,0
63	2012	10,8	12	6	67,75	81,30	16	2	61,5

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

64	2022	10,8	12	6	67,75	81,30	16	3	86,8
65	2115	8,4	11	3	6,34	7,61	17	0	0,0
66	2125	8,4	11	3	6,34	7,61	17	1	27,4
67	2215	19,6	11	6	41,74	50,09	18	0	0,0
68	2225	19,6	11	6	41,47	49,76	18	1	114,5
69	2216	19,6	11	6	37,75	45,30	18	2	78,0
70	2226	19,6	11	6	37,75	45,30	18	3	97,7
71	2217	18,2	11	3	17,50	21,01	24	0	0,0
72	2227	18,2	11	3	17,39	20,87	24	1	48,2
73	2315	18,2	11	6	31,15	37,38	19	0	0,0
74	2325	18,2	11	6	30,93	37,11	19	1	77,6
75	2316	18,2	11	6	31,15	37,38	19	2	39,8
76	2326	18,2	11	6	30,93	37,11	19	3	119,8
77	2317	18,2	11	3	15,57	18,69	25	0	0,0
78	2327	18,2	11	3	15,46	18,56	25	1	24,8
79	2415	11,2	11	6	19,40	23,28	20	0	0,0
80	2425	11,2	11	6	19,26	23,12	20	1	49,6
81	2416	11,2	11	6	19,40	23,28	20	2	25,8
82	2426	11,2	11	6	19,26	23,12	20	3	77,8
83	2417	11,2	11	3	9,70	11,64	26	0	0,0
84	2427	11,2	11	3	9,63	11,56	26	1	24,8
85	2515	16,8	11	6	32,39	38,87	21	0	0,0
86	2525	16,8	11	6	32,18	38,62	21	1	83,2
87	2516	16,8	11	6	32,39	38,87	21	2	55,4
88	2526	16,8	11	6	32,18	38,62	21	3	79,1
89	2517	20	11	3	16,94	20,33	27	0	0,0
90	2527	20	11	3	16,82	20,18	27	1	51,8
91	2615	19,6	11	6	33,95	40,74	22	0	0,0
92	2625	19,6	11	6	33,89	40,67	22	1	84,0
93	2616	19,6	11	6	33,99	40,78	22	2	106,7
94	2626	19,6	11	6	33,75	40,50	22	3	120,5

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

95	2714	14	11	6	25,35	30,42	23	0	0,0
96	2724	14	11	6	25,35	30,42	23	1	60,6
97	2715	9,8	11	3	7,48	8,97	23	2	34,7
98	2725	9,8	11	3	7,48	8,97	23	3	38,5
99	2814	9,5	11	3	7,31	8,77	23	2	44,1
100	2824	9,5	11	3	7,31	8,77	23	3	53,9

UNIDADES ABIERTAS

IDComponente	Descripción	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	IDSubBloque	Nombre SubBloque	IDBloque	Secuencia	Cordón de soldadura (m)
1	Doble fondo	OD1-411	11,2	12	1,4	18,76	29,00	2411	8	0	0,0
2	Forro del fondo	OF1-411	11,2	7,9	0,2	11,08	29,00	2411	8	1	210,4
3	Forro pantoque	1F3-411	11,2	4,1	1,4	6,83	29,00	2411	8	2	93,3
4	Doble fondo	OD1-421	11,2	12	1,4	17,80	30,00	2421	8	0	0,0
5	Forro del fondo	OF1-421	11,2	7,9	0,2	11,08	30,00	2421	8	1	188,0
6	Forro pantoque	1F3-421	11,2	4,1	1,4	6,83	30,00	2421	8	2	93,3
7	Cubierta 2	OC1-412	11,2	12	0,2	16,03	31,00	2412	8	0	0,0
8	Forro costado	1F1-412	11,2	0,2	4,7	6,88	31,00	2412	8	3	51,3
9	Mamparo long	OL1-412	11,2	0,2	4,7	5,36	31,00	2412	8	2	51,1
10	Mamparo long	OL2-412	11,2	0,2	4,7	5,36	31,00	2412	8	2	54,1
11	Mamparo long	OL3-412	11,2	0,2	4,7	5,36	31,00	2412	8	2	54,1
12	Mamparo trans	OT1-412	0,2	12	4,7	5,04	31,00	2412	8	1	40,0
13	Cubierta 2	OC1-422	11,2	12	0,2	16,03	32,00	2422	8	0	0,0
14	Forro costado	1F1-422	11,2	0,2	4,7	6,88	32,00	2422	8	3	51,3
15	Mamparo long	OL1-422	11,2	0,2	4,7	5,36	32,00	2422	8	2	54,1
16	Mamparo long	OL2-422	11,2	0,2	4,7	5,36	32,00	2422	8	2	54,1
17	Mamparo trans	OT1-422	0,2	12	4,7	5,04	32,00	2422	8	1	40,0
18	Cub 3	OC1-413	11,2	12	0,2	16,31	33,00	2413	9	0	0,0
19	Cub 4	OC2-413	11,2	12	0,2	12,18	33,00	2413	9	4	26,2
20	Forro costado	OF1-413	11,2	0,2	5,7	7,59	33,00	2413	9	3	36,9
21	Mamparo trans.	OT1-413	0,2	12	2,7	3,46	33,00	2413	9	1	44,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva
Lucía Barreiro Varela

22	Mamparo trans. tanque	OT2-413	0,2	4,68	2,7	1,12	33,00	2413	9	1	26,1
23	Mamparo long. tanque	OL1-413	2,8	0,2	2,7	0,80	33,00	2413	9	2	26,5
24	Mamparo long. tanque	OL2-413	2,8	0,2	2,7	0,80	33,00	2413	9	2	25,5
25	Cub 3	OC1-423	11,2	12	0,2	16,24	34,00	2423	9	0	0,0
26	Cub 4	OC2-423	11,2	12	0,2	12,11	34,00	2423	9	4	26,2
27	Forro costado	OF1-423	11,2	0,2	5,7	7,59	34,00	2423	9	3	36,9
28	Mamparo trans.	OT1-423	0,2	12	2,7	3,46	34,00	2423	9	1	43,0
29	Mamparo trans. tanque	OT2-423	0,2	4,68	2,7	1,12	34,00	2423	9	1	26,1
30	Mamparo long. tanque	OL1-423	2,8	0,2	2,7	0,80	34,00	2423	9	2	26,5
31	Cub 5	OC1-414	11,2	12	0,2	7,97	35,00	2414	9	0	0,0
32	Cub 6	OC2-414	11,2	12	0,2	7,97	35,00	2414	9	2	26,2
33	Forro	OF1-414	11,2	0,2	6	6,69	35,00	2414	9	1	28,5
34	Cub 5	OC1-424	11,2	12	0,2	7,90	36,00	2424	9	0	0,0
35	Cub 6	OC2-424	11,2	12	0,2	7,90	36,00	2424	9	2	26,2
36	Forro	OF1-424	11,2	0,2	6	6,69	36,00	2424	9	1	28,5
37	Cub 7	OC1-415	11,2	11	0,2	7,15	79,00	2415	20	0	0,0
38	Cub 8	OC2-415	11,2	11	0,2	7,15	79,00	2415	20	2	24,6
39	Forro costado	OF1-415	11,2	0,2	3	2,55	79,00	2415	20	1	26,2
40	Forro costado	OF2-415	11,2	0,2	3	2,55	79,00	2415	20	3	26,2
41	Cub 7	OC1-425	11,2	11	0,2	7,08	80,00	2425	20	0	0,0
42	Cub 8	OC2-425	11,2	11	0,2	7,08	80,00	2425	20	2	24,6
43	Forro costado	OF1-425	11,2	0,2	3	2,55	80,00	2425	20	1	26,2
44	Forro costado	OF2-412	11,2	0,2	3	2,55	80,00	2425	20	3	26,2
45	Cub 9	OC1-416	11,2	11	0,2	7,15	81,00	2416	20	0	0,0
46	Cub 10	OC2-416	11,2	11	0,2	7,15	81,00	2416	20	2	24,6
47	Forro costado	OF1-416	11,2	0,2	3	2,55	81,00	2416	20	1	26,2
48	Forro costado	OF2-416	11,2	0,2	3	2,55	81,00	2416	20	3	26,2

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

49	Cub 9	OC1-426	11,2	11	0,2	7,08	82,00	2426	20	0	0,0
50	Cub 10	OC2-426	11,2	11	0,2	7,08	82,00	2426	20	2	24,6
51	Forro costado	OF1-426	11,2	0,2	3	2,55	82,00	2426	20	1	26,2
52	Forro costado	OF2-426	11,2	0,2	3	2,55	82,00	2426	20	3	26,2
53	Techo	OC1-417	11,2	11	0,2	7,15	83,00	2417	26	0	0,0
54	Forro costado	OF1-417	11,2	0,2	3	2,55	83,00	2417	26	1	26,2
55	Techo	OC1-427	11,2	11	0,2	7,08	84,00	2427	26	0	0,0
56	Forro costado	OF1-427	11,2	0,2	3	2,55	84,00	2427	26	1	26,2
57	Doble fondo	OD1-311	18,2	12	1,4	37,45	37,00	2311	10	0	0,0
58	Forro del fondo	OF1-311	18,2	7,9	0,2	18,00	37,00	2311	10	1	496,0
59	Forro pantoque	1F2-311	18,2	4,1	1,4	11,10	37,00	2311	10	2	116,7
60	Doble fondo	OD1-321	18,2	12	1,4	35,89	38,00	2321	10	0	0,0
61	Forro del fondo	OF1-321	18,2	7,9	0,2	18,00	38,00	2321	10	1	459,6
62	Forro pantoque	1F2-321	18,2	4,1	1,4	11,10	38,00	2321	10	2	116,7
63	Cubierta 2	OC1-312	18,2	12	0,2	33,55	39,00	2312	10	0	0,0
64	Forro	1F1-312	18,2	0,2	4,7	14,02	39,00	2312	10	2	110,2
65	Mamparo long. D.c.	OL1-312	9,1	0,2	4,7	4,24	39,00	2312	10	2	78,7
66	Mamparo trans	OT1-312	0,2	12	4,7	5,04	39,00	2312	10	1	40,0
67	Mamparo trans. d.c.	OT2-312	0,2	2,4	4,7	1,01	39,00	2312	10	1	26,0
68	Cubierta 2	OC1-322	18,2	12	0,2	33,55	40,00	2322	10	0	0,0
69	Forro	1F1-322	18,2	0,2	4,7	14,02	40,00	2322	10	2	110,2
70	Mamparo long. D.c.	OL1-322	9,1	0,2	4,7	4,24	40,00	2322	10	2	78,7
71	Mamparo trans	OT1-322	0,2	12	4,7	5,04	40,00	2322	10	1	40,0
72	Mamparo trans. d.c.	OT2-322	0,2	2,4	4,7	1,01	40,00	2322	10	1	26,0
73	Cubierta 3	OC1-313	18,2	12	0,2	35,35	41,00	2313	11	0	0,0
74	Cubierta 4	OC2-313	18,2	12	0,2	19,62	41,00	2313	11	3	42,2
75	Forro	OF1-313	18,2	0,2	5,7	14,32	41,00	2313	11	2	87,6
76	Mamparo trans	OT1-313	0,2	12	2,7	3,46	41,00	2313	11	1	44,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

77	Cubierta 3	OC1-323	18,2	12	0,2	35,24	42,00	2323	11	0	0,0
78	Cubierta 4	OC2-323	18,2	12	0,2	19,51	42,00	2323	11	3	42,2
79	Forro	OF1-323	18,2	0,2	5,7	14,32	42,00	2323	11	2	87,6
80	Mamparo trans	OT1-323	0,2	12	2,7	3,46	42,00	2323	11	1	44,0
81	Cub 5	OC1-414	18,2	12	0,2	12,78	43,00	2314	11	0	0,0
82	Cub 6	OC2-414	18,2	12	0,2	12,78	43,00	2314	11	2	42,2
83	Forro	OF1-414	18,2	0,2	6	10,80	43,00	2314	11	1	45,5
84	Cub 5	OC1-424	18,2	12	0,2	12,67	44,00	2324	11	0	0,0
85	Cub 6	OC2-424	18,2	12	0,2	12,67	44,00	2324	11	2	40,2
86	Forro	OF1-424	18,2	0,2	6	10,80	44,00	2324	11	1	45,5
87	Cub 7	OC1-315	18,2	11	0,2	11,46	73,00	2315	20	0	0,0
88	Cub 8	OC2-315	18,2	11	0,2	11,46	73,00	2315	20	2	39,8
89	Forro costado	OF1-315	18,2	0,2	3	4,11	73,00	2315	20	1	42,2
90	Forro costado	OF2-315	18,2	0,2	3	4,11	73,00	2315	20	3	42,2
91	Cub 7	OC1-325	18,2	11	0,2	11,35	74,00	2325	20	0	0,0
92	Cub 8	OC2-325	18,2	11	0,2	11,35	74,00	2325	20	2	39,8
93	Forro costado	OF1-325	18,2	0,2	3	4,11	74,00	2325	20	1	42,2
94	Forro costado	OF2-312	18,2	0,2	3	4,11	74,00	2325	20	3	42,2
95	Cub 9	OC1-316	18,2	11	0,2	11,46	75,00	2316	20	0	0,0
96	Cub 10	OC2-316	18,2	11	0,2	11,46	75,00	2316	20	2	39,8
97	Forro costado	OF1-316	18,2	0,2	3	4,11	75,00	2316	20	1	42,2
98	Forro costado	OF2-316	18,2	0,2	3	4,11	75,00	2316	20	3	42,2
99	Cub 9	OC1-326	18,2	11	0,2	11,35	76,00	2326	20	0	0,0
100	Cub 10	OC2-326	18,2	11	0,2	11,35	76,00	2326	20	2	39,8
101	Forro costado	OF1-326	18,2	0,2	3	4,11	76,00	2326	20	1	42,2
102	Forro costado	OF2-326	18,2	0,2	3	4,11	76,00	2326	20	3	42,2
103	Techo	OC1-317	18,2	11	0,2	11,46	77,00	2317	26	0	0,0
104	Forro costado	OF1-317	18,2	0,2	3	4,11	77,00	2317	26	1	42,2
105	Techo	OC1-327	18,2	11	0,2	11,35	78,00	2327	26	0	0,0
106	Forro costado	OF1-327	18,2	0,2	3	4,11	78,00	2327	26	1	42,2
107	Doble fondo	OD1-211	18,2	12	1,4	37,45	45,00	2211	12	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

108	Forro del fondo	0F1-211	18,2	7,9	0,2	18,00	45,00	2211	12	1	496,0
109	Forro pantoque	1F2-211	18,2	4,1	1,4	11,10	45,00	2211	12	2	116,7
110	Doble fondo	0D1-221	18,2	12	1,4	35,89	46,00	2221	12	0	0,0
111	Forro del fondo	0F1-221	18,2	7,9	0,2	18,00	46,00	2221	12	1	459,6
112	Forro pantoque	1F2-221	18,2	4,1	1,4	11,10	46,00	2221	12	2	116,7
113	Cubierta 2	0C1-212	18,2	12	0,2	33,55	47,00	2212	12	0	0,0
114	Forro	1F1-212	18,2	0,2	4,7	14,02	47,00	2212	12	2	110,2
	Mamparo long.										
115	D.c.	0L1-212	9,1	0,2	4,7	4,24	47,00	2212	12	2	78,7
116	Mamparo trans	0T1-212	0,2	12	4,7	5,04	47,00	2212	12	1	24,2
	Mamparo trans.										
117	d.c.	0T2-212	0,2	2,4	4,7	1,01	47,00	2212	12	1	26,0
118	Cubierta 2	0C1-222	18,2	12	0,2	33,55	48,00	2222	12	0	0,0
119	Forro	1F1-222	18,2	0,2	4,7	14,02	48,00	2222	12	2	110,2
	Mamparo long.										
120	D.c.	0L1-222	9,1	0,2	4,7	4,24	48,00	2222	12	2	78,7
121	Mamparo trans	0T1-222	0,2	12	4,7	5,04	48,00	2222	12	1	20,8
	Mamparo trans.										
122	d.c.	0T2-222	0,2	2,4	4,7	1,01	48,00	2222	12	1	26,0
123	Cubierta 3	0C1-213	18,2	12	0,2	35,35	49,00	2213	13	0	0,0
124	Cubierta 4	0C2-213	18,2	12	0,2	19,62	49,00	2213	13	3	42,2
125	Forro	0F1-213	18,2	0,2	5,7	14,32	49,00	2213	13	2	93,6
126	Mamparo trans	0T1-213	0,2	12	5,7	6,00	49,00	2213	13	1	44,0
127	Cubierta 3	0C1-223	18,2	12	0,2	35,24	50,00	2223	13	0	0,0
128	Cubierta 4	0C2-223	18,2	12	0,2	19,51	50,00	2223	13	3	42,2
129	Forro	0F1-223	18,2	0,2	5,7	14,32	50,00	2223	13	2	93,6
130	Mamparo trans	0T1-223	0,2	12	5,7	6,00	50,00	2223	13	1	44,0
131	Cub 5	0C1-214	18,2	12	0,2	12,78	51,00	2214	13	0	0,0
132	Cub 6	0C2-214	18,2	12	0,2	12,78	51,00	2214	13	3	66,2
133	Forro	0F1-214	18,2	0,2	6	10,80	51,00	2214	13	2	71,5
134	Mamparo trans	0T1-214	0,2	12	6	5,13	51,00	2214	13	1	44,0
135	Cub 5	0C1-224	18,2	12	0,2	12,67	52,00	2224	13	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

136	Cub 6	OC2-224	18,2	12	0,2	12,67	52,00	2224	13	3	66,2
137	Forro	OF1-224	18,2	0,2	6	10,80	52,00	2224	13	2	71,5
138	Mamparo trans	OT1-224	0,2	12	6	6,26	52,00	2224	13	1	44,0
139	Cub 7	OC1-215	19,6	11	0,2	12,20	67,00	2215	18	0	0,0
140	Cub 8	OC2-215	19,6	11	0,2	12,20	67,00	2215	18	5	64,0
141	Cub 8	OC3-215	5,6	11	0,2	4,79	67,00	2215	18	6	40,4
142	Forro costado	OF1-215	19,6	0,2	3	4,40	67,00	2215	18	1	45,0
143	Forro costado	OF2-215	16,6	0,2	3	3,79	67,00	2215	18	2	36,0
144	Forro curvo	1F3-215	3	3	3	0,29	67,00	2215	18	3	22,4
145	Forro popa	OF4-215	0,2	4,5	3	0,91	67,00	2215	18	4	22,0
146	Mamparo trans	OT1-215	0,5	9,5	6	3,15	67,00	2215	18	3	80,0
147	Cub 7	OC1-225	19,6	11	0,2	12,08	68,00	2225	18	0	0,0
148	Cub 8	OC2-225	19,6	11	0,2	12,08	68,00	2225	18	5	64,0
149	Cub 8	OC3-225	5,6	11	0,2	4,76	68,00	2225	18	6	40,4
150	Forro costado	OF1-225	19,6	0,2	3	4,40	68,00	2225	18	1	45,0
151	Forro costado	OF2-225	16,6	0,2	3	3,79	68,00	2225	18	2	36,0
152	Forro curvo	1F3-225	3	3	3	0,29	68,00	2225	18	3	22,4
153	Forro popa	OF4-225	0,2	4,5	3	0,91	68,00	2225	18	4	22,0
154	Mamparo trans	OT1-225	0,5	9,5	6	3,15	68,00	2225	18	3	79,0
155	Cub 9	OC1-216	19,6	11	0,2	12,20	69,00	2216	18	0	0,0
156	Cub 10	OC2-216	19,6	11	0,2	11,89	69,00	2216	18	7	54,8
157	Forro costado	OF1-216	16,6	0,2	3	3,79	69,00	2216	18	1	39,0
158	Forro curvo	1F2-216	3	3	3	0,29	69,00	2216	18	2	22,4
159	Forro popa	OF3-216	0,2	6,5	3	1,32	69,00	2216	18	3	20,0
160	Forro costado	OF4-216	13,8	0,2	3	3,15	69,00	2216	18	4	31,0
161	Forro curvo	1F5-216	3	3	3	0,29	69,00	2216	18	5	22,4
162	Forro popa	OF6-216	0,2	6,5	3	1,32	69,00	2216	18	6	20,0
163	Mamparo tans	OT1-216	0,2	9,5	6	3,50	69,00	2216	18	8	70,0
164	Cub 9	OC1-226	19,6	11	0,2	12,20	70,00	2226	18	0	0,0
165	Cub 10	OC2-226	19,6	11	0,2	11,89	70,00	2226	18	7	54,8
166	Forro costado	OF1-226	16,6	0,2	3	3,79	70,00	2226	18	1	39,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

167	Forro curvo	1F2-226	3	3	3	0,29	70,00	2226	18	2	22,4
168	Forro popa	0F3-226	0,2	6,5	3	1,32	70,00	2226	18	3	20,0
169	Forro costado	0F4-226	13,8	0,2	3	3,15	70,00	2226	18	4	31,0
170	Forro curvo	1F5-226	3	3	3	0,29	70,00	2226	18	5	22,4
171	Forro popa	0F6-226	0,2	6,5	3	1,32	70,00	2226	18	6	20,0
172	Mamparo tans	OT1-226	0,2	9,5	6	3,50	70,00	2226	18	8	70,0
	Cubierta										
173	superior	OC1-217	18,2	11	0,2	10,85	71,00	2217	19	0	0,0
174	Forro costado	0F1-217	13,8	0,2	3	3,12	71,00	2217	19	1	32,4
175	Forro curvo	1F2-217	3	3	3	0,29	71,00	2217	19	2	22,4
176	Forro popa	0F3-217	0,2	6,5	3	1,32	71,00	2217	19	3	20,0
177	Mamparo trans	OT1-217	0,2	9,5	3	1,93	71,00	2217	19	4	60,0
	Cubierta										
178	superior	OC1-227	18,2	11	0,2	10,74	72,00	2227	19	0	0,0
179	Forro costado	0F1-227	13,8	0,2	3	3,12	72,00	2227	19	1	32,4
180	Forro curvo	1F2-227	3	3	3	0,29	72,00	2227	19	2	22,4
181	Forro popa	0F3-227	0,2	6,5	3	1,32	72,00	2227	19	3	20,0
182	Mamparo trans	OT1-227	0,2	9,5	3	1,93	72,00	2227	19	4	60,0
183	Doble fondo	OD1-111	8,17	12	1,4	11,81	53,00	2111	14	0	0,0
184	Forro curvo	1F1-111	8,17	12	1,4	12,92	53,00	2111	14	1	217,4
185	Doble fondo	OD1-121	8,17	12	1,4	11,81	54,00	2121	14	0	0,0
186	Forro curvo	1F1-121	8,17	12	1,4	12,92	54,00	2121	14	1	201,1
187	Cubierta 2	OC1-112	18,2	12	0,2	25,37	55,00	2112	14	0	0,0
188	Mamparo trans	OT1-112	0,2	12	4,7	4,15	55,00	2112	14	1	44,0
189	Doble costado	OL1-112	18,2	0,2	4,7	7,61	55,00	2112	14	2	66,5
190	Forro lateral	1F1-112	18,2	0,2	4,7	7,92	55,00	2112	14	3	72,2
191	Forro fondo	1F2-112	10,03	12	0,2	14,57	55,00	2112	14	4	44,0
192	Cubierta 2	OC1-122	18,2	12	0,2	25,37	56,00	2122	14	0	0,0
193	Mamparo trans	OT1-122	0,2	12	4,7	4,15	56,00	2122	14	1	44,0
194	Doble costado	OL1-122	18,2	0,2	4,7	7,61	56,00	2122	14	2	66,5
195	Forro lateral	1F1-122	18,2	0,2	4,7	7,92	56,00	2122	14	3	72,2

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

196	Forro fondo	1F2-122	18	12	0,2	26,14	56,00	2122	14	4	75,9
197	Cubierta 3	OC1-113	18,2	12	0,2	25,82	57,00	2113	15	0	0,0
198	Cubierta 4	OC2-113	18,2	12	0,2	19,62	57,00	2113	15	3	42,2
199	Forro	OF1-113	18,2	0,2	5,7	14,32	57,00	2113	15	2	87,6
200	Mamparo trans	OT1-113	0,2	12	2,7	3,46	57,00	2113	15	1	44,0
201	Cubierta 3	OC1-123	18,2	12	0,2	25,71	58,00	2123	15	0	0,0
202	Cubierta 4	OC2-123	18,2	12	0,2	19,51	58,00	2123	15	3	42,2
203	Forro	OF1-123	18,2	0,2	5,7	12,90	58,00	2123	15	2	87,6
204	Mamparo trans	OT1-123	0,2	12	2,7	3,46	58,00	2123	15	1	44,0
205	Cubierta 5	OC1-114	18,2	12	0,2	12,78	59,00	2114	15	0	0,0
206	Cubierta 6	OC2-114	12,8	12	0,2	8,58	59,00	2114	15	4	36,8
207	Forro costado	OF1-114	18,2	0,2	3	5,40	59,00	2114	15	1	42,2
208	Forro costado	OF2-114	6,8	0	3	2,07	59,00	2114	15	1	16,4
209	Forro curvo	1F3-114	3	3	3	1,29	59,00	2114	15	2	22,4
210	Forro popa	OF4-114	0,2	4,5	3	1,23	59,00	2114	15	3	22,0
211	Cubierta 5	OC1-114	18,2	12	0,2	12,67	60,00	2124	15	0	0,0
212	Cubierta 6	OC2-114	12,8	12	0,2	8,51	60,00	2124	15	4	36,8
213	Forro costado	OF1-114	18,2	0,2	3	5,40	60,00	2124	15	1	42,2
214	Forro costado	OF2-114	6,8	0	3	2,07	60,00	2124	15	1	16,4
215	Forro curvo	1F3-114	3	3	3	1,29	60,00	2124	15	2	22,4
216	Forro popa	OF4-114	0,2	4,5	3	1,23	60,00	2124	15	3	22,0
217	Cubierta 7	OC1-115	8,4	11	0,2	5,05	65,00	2115	17	0	0,0
218	Forro curvo	1F1-115	5,6	3	3	0,62	65,00	2115	17	1	16,5
219	Forro popa	OF2-115	0,2	4,5	3	0,67	65,00	2115	17	2	22,0
220	Cubierta 7	OC1-125	8,4	11	0,2	5,05	66,00	2125	17	0	0,0
221	Forro curvo	1F1-125	5,6	3	3	0,62	66,00	2125	17	1	16,5
222	Forro popa	OF2-125	0,2	4,5	3	0,67	66,00	2125	17	2	22,0
223	Cub 2	OC1-011	10,9	12	0,2	19,84	61,00	2011	16	0	0,0
224	Cub 3	OC2-011	11,9	12	0,2	20,78	61,00	2011	16	2	40,0
225	Mamparo trans	OT1-011	0,2	12	5	5,29	61,00	2011	16	1	40,0
226	Forro curvo	1F1-011	11,46	12	5	28,91	61,00	2011	16	3	150,6

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

227	Cub 2	OC1-021	10,9	12	0,2	19,84	62,00	2021	16	0	0,0
228	Cub 3	OC2-021	11,9	12	0,2	20,78	62,00	2021	16	2	40,0
229	Mamparo trans	OT1-021	0,2	12	5	5,29	62,00	2021	16	1	40,0
230	Forro curvo	1F1-021	11,46	12	5	28,91	62,00	2021	16	3	150,6
231	Cub 4	OC1-012	10,8	12	0,2	19,74	63,00	2012	16	0	0,0
232	Cub 5	OC2-012	10,3	12	0,2	19,27	63,00	2012	16	2	40,0
233	Mamparo trans	OT1-012	0,2	12	6	6,14	63,00	2012	16	1	40,0
234	Forro curvo	1F1-012	10,8	12	6	22,60	63,00	2012	16	3	128,0
235	Cub 4	OC1-022	10,8	12	0,2	19,74	64,00	2022	16	0	0,0
236	Cub 5	OC2-0,22	10,3	12	0,2	19,27	64,00	2022	16	2	40,0
237	Mamparo trans	OT1-022	0,2	12	6	6,14	64,00	2022	16	1	40,0
238	Forro curvo	1F1-022	10,8	12	6	22,60	64,00	2022	16	3	128,0
239	Doble fondo	OD1-511	16,8	12	1,4	29,43	21,00	2511	6	0	0,0
240	Forro del fondo	OF1-511	16,8	7,9	0,2	16,61	21,00	2511	6	1	303,6
241	Forro pantoque	1F3-511	16,8	4,1	1,4	10,25	21,00	2511	6	2	136,7
242	Doble fondo	OD1-521	16,8	12	1,4	26,28	22,00	2521	6	0	0,0
243	Forro del fondo	OF1-521	16,8	7,9	0,2	16,61	22,00	2521	6	1	270,0
244	Forro pantoque	1F3-521	16,8	4,1	1,4	10,25	22,00	2521	6	2	136,7
245	Cubierta 2	OC1-512	16,8	12	0,2	22,69	23,00	2512	6	0	0,0
246	Doble costado	OL1-512	16,8	0,2	4,7	6,91	23,00	2512	6	1	48,2
247	Mamparo trans	OT1-512	2	12	4,7	5,04	23,00	2512	6	2	83,9
248	Forro costado	OF1-512	16,8	0,2	4,7	10,49	23,00	2512	6	1	45,1
249	Cubierta 2	OC1-522	16,8	12	0,2	22,59	24,00	2522	6	0	0,0
250	Doble costado	OL1-522	16,8	0,2	4,7	6,91	24,00	2522	6	1	48,2
251	Mamparo trans	OT1-522	2	12	4,7	5,04	24,00	2522	6	2	82,9
252	Forro costado	OF1-522	16,8	0,2	4,7	10,49	24,00	2522	6	1	45,1
253	Cubierta 3	OC1-513	16,8	12	0,2	23,10	25,00	2513	7	0	0,0
254	Cubierta 4	OC2-513	16,8	12	0,2	17,93	25,00	2513	7	3	38,4
255	Forro	OF1-513	16,8	0,2	5,7	11,76	25,00	2513	7	2	71,9
256	Mamparo trans	OT1-513	0,2	12	5,7	6,00	25,00	2513	7	1	44,0
257	Cubierta 3	OC1-523	16,8	12	0,2	22,99	26,00	2523	7	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

258	Cubierta 4	OC2-523	16,8	12	0,2	17,83	26,00	2523	7	3	38,4
259	Forro	OF1-523	16,8	0,2	5,7	11,76	26,00	2523	7	2	71,9
260	Mamparo trans	OT1-523	0,2	12	5,7	6,00	26,00	2523	7	1	43,0
261	Cub 5	OC1-514	16,8	12	0,2	11,62	27,00	2514	7	0	0,0
262	Cub 6	OC2-514	16,8	12	0,2	11,62	27,00	2514	7	3	62,4
263	Forro	OF1-514	16,8	0,2	6	9,90	27,00	2514	7	2	67,2
264	Mamparo trans	OT1-514	0,2	12	6	5,13	27,00	2514	7	1	44,0
265	Cub 5	OC1-524	16,8	12	0,2	11,52	28,00	2524	7	0	0,0
266	Cub 6	OC2-524	16,8	12	0,2	11,52	28,00	2524	7	3	62,4
267	Forro	OF1-524	16,8	0,2	6	9,90	28,00	2524	7	2	67,2
268	Mamparo trans	OT1-524	0,2	12	6	6,26	28,00	2524	7	1	43,0
269	Cub 7	OC1-515	16,8	11	0,2	10,41	85,00	2515	21	0	0,0
270	Cub 8	OC2-515	16,8	11	0,2	10,41	85,00	2515	21	2	36,4
271	Forro costado	OF1-515	16,8	0,2	3	3,76	85,00	2515	21	1	38,4
272	Forro costado	OF2-515	16,8	0,2	3	3,76	85,00	2515	21	3	38,4
273	Mamparo trans	OT1-515	0,2	9,5	6	4,04	85,00	2515	21	4	66,0
274	Cub 7	OC1-525	16,8	11	0,2	10,31	86,00	2525	21	0	0,0
275	Cub 8	OC2-525	16,8	11	0,2	10,31	86,00	2525	21	2	36,4
276	Forro costado	OF1-525	16,8	0,2	3	3,76	86,00	2525	21	1	38,4
277	Forro costado	OF2-525	16,8	0,2	3	3,76	86,00	2525	21	3	38,4
278	Mamparo trans	OT1-525	0,2	9,5	6	4,04	86,00	2525	21	4	79,0
279	Cub 7	OC1-516	16,8	11	0,2	10,41	87,00	2516	21	0	0,0
280	Cub 8	OC2-516	16,8	11	0,2	10,41	87,00	2516	21	2	36,4
281	Forro costado	OF1-516	16,8	0,2	3	3,76	87,00	2516	21	1	38,4
282	Forro costado	OF2-516	16,8	0,2	3	3,76	87,00	2516	21	3	38,4
283	Mamparo trans	OT1-516	0,2	9,5	6	4,04	87,00	2516	21	4	66,0
284	Cub 7	OC1-526	16,8	11	0,2	10,31	88,00	2526	21	0	0,0
285	Cub 8	OC2-526	16,8	11	0,2	10,31	88,00	2526	21	2	36,4
286	Forro costado	OF1-526	16,8	0,2	3	3,76	88,00	2526	21	1	38,4
287	Forro costado	OF2-526	16,8	0,2	3	3,76	88,00	2526	21	3	38,4
288	Mamparo trans	OT1-526	0,2	9,5	6	4,04	88,00	2526	21	4	79,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva
Lucía Barreiro Varela

	Cubierta										
289	superior	OC1-517	20	11	0,2	12,11	89,00	2517	27	0	0,0
290	Forro costado	OF1-517	13,8	0,2	3	3,22	89,00	2517	27	1	32,4
291	Forro curvo	1F2-517	3	3	3	0,29	89,00	2517	27	2	22,4
292	Forro popa	OF3-517	0,2	6,5	3	1,32	89,00	2517	27	3	20,0
	Cubierta										
293	superior	OC1-527	20	11	0,2	11,98	90,00	2527	27	0	0,0
294	Forro costado	OF1-527	13,8	0,2	3	3,22	90,00	2527	27	1	32,4
295	Forro curvo	1F2-527	3	3	3	0,29	90,00	2527	27	2	22,4
296	Forro popa	OF3-527	0,2	6,5	3	1,32	90,00	2527	27	3	20,0
297	Doble fondo	OD1-611	19,6	9,17	1,4	29,00	13,00	2611	4	0	0,0
298	Forro del fondo	OF1-611	19,6	9,17	0,2	21,93	13,00	2611	4	1	368,0
299	Doble fondo	OD1-621	19,6	9,17	1,4	27,32	14,00	2621	4	0	0,0
300	Forro del fondo	OF1-621	19,6	9,17	0,2	21,93	14,00	2621	4	1	328,8
301	Cubierta 2	OC1-612	19,6	10,4	0,2	23,39	15,00	2612	4	0	0,0
302	Forro	OF2-612	19,6	0,2	4,7	12,30	15,00	2612	4	3	72,7
303	Doble casco	OL1-612	19,6	0,2	4,7	9,37	15,00	2612	4	2	60,4
304	Mamparo trans	OT1-612	0,2	9,3	4,7	3,90	15,00	2612	4	1	33,6
305	Mamparo trans tanque	OT2-612	0,2	7,2	4,7	2,49	15,00	2612	4	1	25,4
306	Mamparo long tanque	OL2-612	8,4	0,2	4,7	3,96	15,00	2612	4	2	35,2
307	Mamparo long tanque	OL3-612	8,4	0,2	4,7	3,96	15,00	2612	4	2	35,2
308	Cubierta 2	OC1-622	19,6	10,4	0,2	23,39	16,00	2622	4	0	0,0
309	Forro	OF2-622	19,6	0,2	4,7	12,30	16,00	2622	4	3	72,7
310	Doble casco	OL1-622	19,6	0,2	4,7	9,37	16,00	2622	4	2	60,4
311	Mamparo trans	OT1-622	0,2	9,3	4,7	3,90	16,00	2622	4	1	33,6
312	Mamparo trans tanque	OT2-622	0,2	7,2	4,7	2,49	16,00	2622	4	1	25,4
313	Mamparo long tanque	OL2-622	8,4	0,2	4,7	3,96	16,00	2622	4	2	35,2

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

314	Cubierta 3	OC1-613	19,6	12	0,2	27,17	17,00	2613	5	0	0,0
315	Cubierta 4	OC2-613	19,6	12	0,2	20,98	17,00	2613	5	3	45,0
316	Forro	OF1-613	19,6	0,2	5,7	13,77	17,00	2613	5	2	80,3
317	Mamparo trans	OT1-613	0,2	12	5,7	6,00	17,00	2613	5	1	44,0
318	Cubierta 3	OC1-623	19,6	12	0,2	27,05	18,00	2623	5	0	0,0
319	Cubierta 4	OC2-623	19,6	12	0,2	20,86	18,00	2623	5	3	45,0
320	Forro	OF1-623	19,6	0,2	5,7	13,77	18,00	2623	5	2	80,3
321	Mamparo trans	OT1-623	0,2	12	5,7	6,00	18,00	2623	5	1	43,0
322	Cub 5	OC1-614	19,6	12	0,2	13,95	19,00	2614	5	0	0,0
323	Cub 6	OC2-614	19,6	12	0,2	13,95	19,00	2614	5	2	45,9
324	Forro	OF1-614	19,6	0,2	6	11,71	19,00	2614	5	1	49,8
325	Cub 5	OC1-624	19,6	12	0,2	13,83	20,00	2624	5	0	0,0
326	Cub 6	OC2-624	19,6	12	0,2	13,83	20,00	2624	5	2	45,9
327	Forro	OF1-624	19,6	0,2	6	11,71	20,00	2624	5	1	49,8
328	Cub 7	OC1-615	19,6	11	0,2	12,51	91,00	2615	22	0	0,0
329	Cub 8	OC2-615	19,6	11	0,2	12,51	91,00	2615	22	2	43,1
330	Forro costado	OF1-615	19,6	0,2	3	4,47	91,00	2615	22	1	45,9
331	Forro costado	OF2-615	19,6	0,2	3	4,47	91,00	2615	22	3	45,9
332	Cub 7	OC1-625	19,6	11	0,2	12,39	92,00	2625	22	0	0,0
333	Cub 8	OC2-625	19,6	11	0,2	12,39	92,00	2625	22	2	43,1
334	Forro costado	OF1-625	19,6	0,2	3	4,56	92,00	2625	22	1	45,9
335	Forro costado	OF2-625	19,6	0,2	3	4,56	92,00	2625	22	3	45,9
336	Cub 9	OC1-616	19,6	11	0,2	12,51	93,00	2616	22	0	0,0
337	Cub 10	OC2-616	20	11	0,2	12,11	93,00	2616	22	5	57,6
338	Forro costado	OF1-616	19,6	0,2	3	4,47	93,00	2616	22	1	45,9
339	Forro costado	OF2-616	15,2	0,2	3	3,30	93,00	2616	22	2	33,2
340	Forro curvo	1F3-616	3	3	3	0,29	93,00	2616	22	3	22,4
341	Forro popa	OF4-616	0,2	6,5	3	1,32	93,00	2616	22	4	26,0
342	Cub 9	OC1-626	19,6	11	0,2	12,39	94,00	2626	22	0	0,0
343	Cub 10	OC2-626	20	11	0,2	11,98	94,00	2626	22	5	57,6
344	Forro costado	OF1-626	19,6	0,2	3	4,47	94,00	2626	22	1	45,9

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

345	Forro costado	0F2-626	15,2	0,2	3	3,30	94,00	2626	22	2	33,2
346	Forro curvo	1F3-626	3	3	3	0,29	94,00	2626	22	3	22,4
347	Forro popa	0F4-626	0,2	6,5	3	1,32	94,00	2626	22	4	26,0
348	Doble fondo	0D1-711	14	4,7	1,4	11,46	7,00	2711	3	0	0,0
349	Forro fondo	1F1-711	14	4,7	1,4	9,03	7,00	2711	3	1	207,0
350	Forro costado	1F2-711	14	0,2	4,7	5,72	7,00	2711	3	3	63,8
351	Cubierta 2	0C1-711	14	7,4	0,2	11,03	7,00	2711	3	4	88,0
352	Mamparo trans	0T1-711	0,2	5,6	4,7	2,35	7,00	2711	3	2	6,8
353	Mamparo trans tanque	0T2-711	0,2	4,2	4,7	1,76	7,00	2711	3	2	8,8
354	Doble costado	0L1-711	14	0,2	4,7	6,93	7,00	2711	3	3	86,5
355	Doble fondo	0D1-711	14	4,7	1,4	10,26	8,00	2711	3	0	0,0
356	Forro fondo	1F1-711	14	4,7	1,4	9,03	8,00	2711	3	1	179,0
357	Forro costado	1F2-711	14	0,2	4,7	5,72	8,00	2711	3	3	63,8
358	Cubierta 2	0C1-711	14	7,4	0,2	11,03	8,00	2711	3	4	88,0
359	Mamparo trans	0T1-711	0,2	5,6	4,7	2,35	8,00	2711	3	2	6,8
360	Mamparo trans tanque	0T2-711	0,2	4,2	4,7	1,76	8,00	2711	3	2	8,8
361	Doble costado	0L1-711	14	0,2	4,7	6,93	8,00	2711	3	3	86,5
362	Cubierta 3	0C1-712	14	8,2	0,2	14,04	9,00	2712	3	0	0,0
363	Cubierta 4	0C2-712	14	8,75	0,2	11,13	9,00	2712	3	3	32,8
364	Forro	0F1-712	14	0,2	5,7	10,03	9,00	2712	3	2	66,3
365	Mamparo trans	0T1-712	14	12	5,7	6,00	9,00	2712	3	1	39,0
366	Cubierta 3	0C1-722	14	8,2	0,2	13,96	10,00	2722	3	0	0,0
367	Cubierta 4	0C2-722	14	8,75	0,2	11,05	10,00	2722	3	3	32,8
368	Forro	0F1-722	14	0,2	5,7	10,03	10,00	2722	3	2	66,3
369	Mamparo trans	0T1-722	0,2	7,3	5,7	3,65	10,00	2722	3	1	28,6
370	Cub 5	0C1-713	14	9,55	0,2	8,02	11,00	2713	3	0	0,0
371	Cub 6	0C2-713	14	10,45	0,2	8,64	11,00	2713	3	2	32,8
372	Forro	0F1-713	14	0,2	6	8,36	11,00	2713	3	1	35,6
373	Cub 5	0C1-723	14	9,55	0,2	7,93	12,00	2723	3	0	0,0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

374	Cub 6	OC2-723	14	10,45	0,2	8,55	12,00	2723	3	2	32,8
375	Forro	OF1-723	14	0,2	6	8,36	12,00	2723	3	1	35,6
376	Cub 7	OC1-714	14	11	0,2	8,93	95,00	2714	23	0	0,0
377	Cubierta 8	OC2-714	15,4	11	0,2	9,37	95,00	2714	23	5	45,8
378	Forro costado	OF1-714	14	0,2	3	3,19	95,00	2714	23	1	32,8
379	Forro costado	OF2-714	9,7	0,2	3	2,25	95,00	2714	23	2	21,1
380	Forro curvo	1F3-714	3	3	3	0,29	95,00	2714	23	3	22,4
381	Forro popa	OF4-714	0,2	6,5	3	1,32	95,00	2714	23	4	26,0
382	Cubierta 7	OC1-724	14	11	0,2	8,93	96,00	2724	23	0	0,0
383	Cubierta 8	OC2-724	15,4	11	0,2	9,37	96,00	2724	23	5	45,8
384	Forro costado	OF1-724	14	0,2	3	3,19	96,00	2724	23	1	32,8
385	Forro costado	OF2-724	9,7	0,2	3	2,25	96,00	2724	23	2	21,1
386	Forro curvo	1F3-724	3	3	3	0,29	96,00	2724	23	3	22,4
387	Forro popa	OF4-724	0,2	6,5	3	1,32	96,00	2724	23	4	26,0
388	Cubierta 9	OC1-715	9,9	11	0,2	5,85	97,00	2715	23	0	0,0
389	Forro curvo	1F1-715	7	3	3	0,67	97,00	2715	23	1	16,5
390	Forro popa	OF2-715	0,2	6,5	3	0,96	97,00	2715	23	2	26,0
391	Cubierta 9	OC1-725	9,9	11	0,2	5,85	98,00	2725	23	0	0,0
392	Forro curvo	1F1-725	7	3	3	0,67	98,00	2725	23	1	16,5
393	Forro popa	OF2-725	0,2	6,5	3	0,96	98,00	2725	23	2	26,0
394	Cubierta 7	OC1-814	9,6	11	0,2	5,69	99,00	2814	23	0	0,0
395	Forro curvo	1F1-814	6,7	3	3	0,66	99,00	2814	23	1	16,5
396	Forro popa	OF2-814	0,2	6,5	3	0,96	99,00	2814	23	2	26,0
397	Cubierta 7	OC1-824	9,6	11	0,2	5,69	100,00	2824	23	0	0,0
398	Forro curvo	1F1-824	6,7	3	3	0,66	100,00	2824	23	1	16,5
399	Forro popa	OF2-824	0,2	6,5	3	0,96	100,00	2824	23	2	26,0
400	Forro fondo	1F1-801	14	4,9	1,4	9,21	4,00	2801	2	1	89,0
401	Forro costado	1F2-801	14	0,2	4,7	8,68	4,00	2801	2	5	59,2
402	Forro costado	1F3-801	14	0,2	4,7	8,68	4,00	2801	2	5	59,2
403	Doble fondo	OD1-801	14	4,9	1,4	8,58	4,00	2801	2	0	0,0
404	Cubierta 2	OC1-801	14	11,2	0,2	17,18	4,00	2801	2	4	86,6

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

405	Mamparo trans	OT1-801	0,2	3,6	4,7	1,32	4,00	2801	2	2	19,3
406	Doble costado	OL1-801	14	0,2	4,7	5,71	4,00	2801	2	3	61,7
407	Doble costado	OL2-801	14	0,2	4,7	5,71	4,00	2801	2	3	61,7
408	Cubierta 3	OC1-802	14	12,5	0,1	20,65	5,00	2802	2	0	0,0
409	Cubierta 4	OC2-802	14	14,6	0,1	17,64	5,00	2802	2	2	38,2
410	Forro costado	OF1-802	14	0,2	5,7	10,03	5,00	2802	2	3	95,3
411	Forro costado	OF2-802	14	0,2	5,7	10,03	5,00	2802	2	3	95,3
412	Mamparo trans	OT1-802	0,1	3,7	5,7	1,85	5,00	2802	2	1	13,4
413	Cubierta 5	OC1-803	14	16,8	0,1	27,34	6,00	2803	2	0	0,0
414	Cubierta 6	OC2-803	14	19,4	0,1	23,05	6,00	2803	2	2	56,8
415	Forro costado	OF1-803	14	0,2	6	10,39	6,00	2803	2	3	95,9
416	Forro costado	OF2-803	14	0,2	6	10,39	6,00	2803	2	3	95,9
417	Mamparo trans	OT1-803	0,1	14,4	6	7,51	6,00	2803	2	1	40,8
418	Bulbo de proa	1F1-901	15,6	3,6	6,1	69,92	1,00	2901	1	0	0,0
419	Forro curvo	1F1-902	11,5	2,32	5,7	16,84	2,00	2902	1	1	65,4
420	Cubierta 3	OC1-902	9,3	2,32	0,2	3,71	2,00	2902	1	0	0,0
421	Cubierta 4	OC2-902	11,8	7,4	0,2	8,42	2,00	2902	1	2	64,2
422	Forro curvo	1F1-903	16,2	15	6	3,71	3,00	2903	1	1	87,4
423	Cubierta 5	OC1-903	14	11,5	0,2	18,30	3,00	2903	1	0	0,0
424	Cubierta 6	OC2-903	16,2	15	0,2	20,79	3,00	2903	1	2	101,0

4 ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA CASO 3

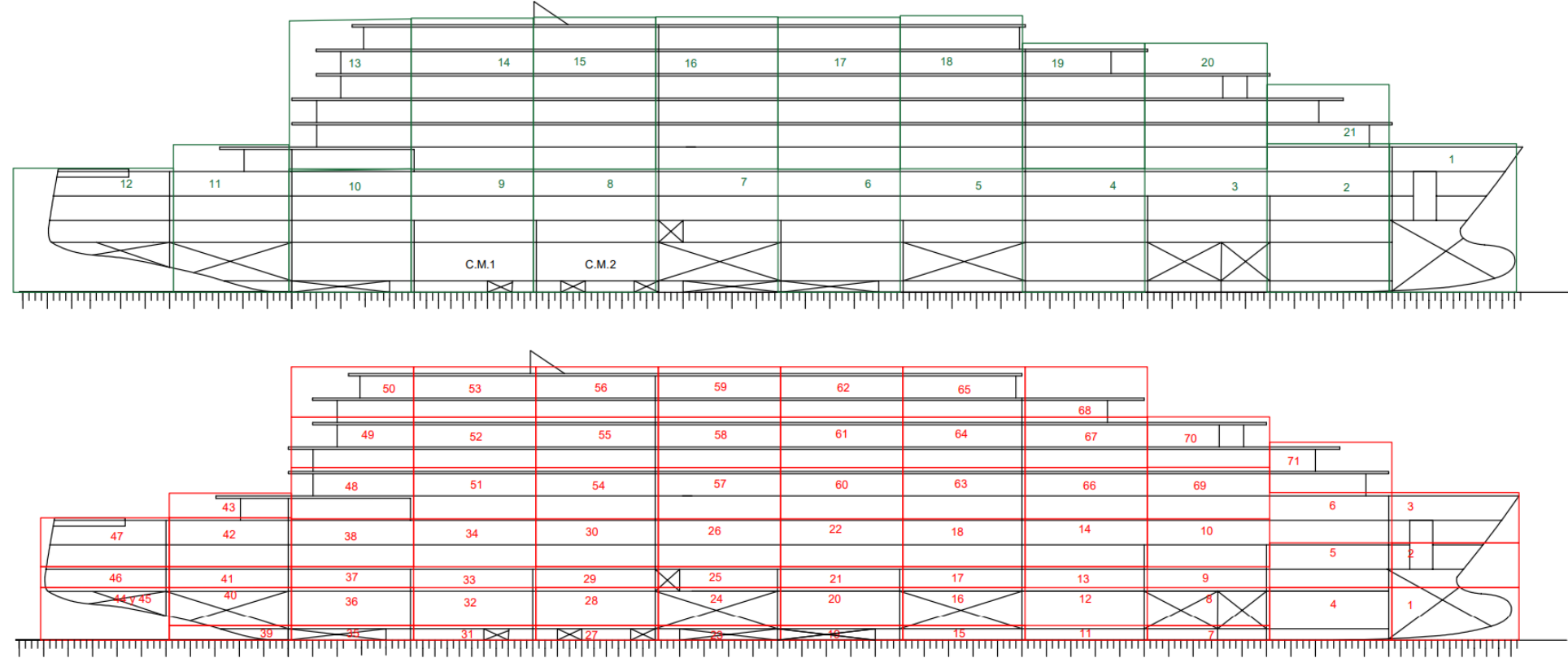


Figura 4: Despiece del buque caso 3. Elaboración propia.

Tabla 4: Estrategia Constructiva Caso 3

BLOQUES							
IDBloque	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	Peso +30% (t)	Secuencia

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

1	1111	15	15	17,8	165,08	222,86	19
2	1101	15	16,75	17,8	207,09	279,58	18
3	1091	15	20	14,8	216,90	292,81	6
4	1081	15	20	14,8	276,74	373,60	5
5	1071	15	20	14,8	287,33	387,90	4
6	1061	15	20	14,8	279,58	377,44	3
7	1051	15	20	14,8	277,10	374,09	2
8	1041	15	20	14,8	279,58	377,44	1
9	1031	15	20	14,8	279,58	377,44	0
10	1021	15	20	14,8	260,96	352,30	7
11	1011	15	20	17,8	287,87	388,63	8
12	1001	15	20	14,8	203,21	274,33	9
13	1022	15	20	18	156,25	210,94	10
14	1032	15	20	18	169,68	229,07	11
15	1042	15	20	18	178,03	240,33	12
16	1052	15	20	18	159,26	215,00	13
17	1062	15	20	18	169,68	229,07	14
18	1072	15	20	18	169,58	228,93	15
19	1082	15	20	15	134,46	181,52	16
20	1092	15	20	12	102,02	137,72	17
21	1102	15	18	6	50,62	68,34	20

SUBBLOQUES									
IDSubBloque	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	Peso +20% (t)	IDBloque	Secuencia	Cordón de soldadura (m)
1	2111	15	3,6	6,1	67,2	80,7	1	0	0
2	2112	11,8	7,4	5,7	29,0	34,8	1	1	70,8
3	2113	15	15	6	41,4	49,7	1	2	90

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

4	2101	15	11,2	6,1	68,8	82,6	2	0	0
5	2102	15	14,6	5,7	63,5	76,2	2	1	85,4176
6	2103	15	16,75	6	74,7	89,7	2	2	74,7488
7	2091	15	9,85	1,4	46,3	55,5	3	0	0
8	2092	15	20	4,7	71,2	85,5	3	1	220,96
9	2093	15	16,4	2,7	50,3	60,3	3	2	116,2
10	2094	15	18,5	6	49,1	58,9	3	3	102,6
11	2081	15	20	1,4	78,2	93,8	4	0	0
12	2082	15	20	4,7	75,3	90,4	4	1	190,76
13	2083	15	20	2,7	58,9	70,7	4	2	123,4
14	2084	15	20	6	64,3	77,2	4	3	105,6
15	2071	15	17,6	1,4	75,1	90,1	5	0	0
16	2072	15	20	4,7	78,6	94,3	5	1	211,44
17	2073	15	20	2,7	69,4	83,2	5	2	152,8
18	2074	15	20	6	64,3	77,2	5	3	105,6
19	2061	15	20	1,4	78,2	93,8	6	0	0
20	2062	15	20	4,7	78,2	93,8	6	1	190,76
21	2066	15	20	2,7	58,9	70,7	6	2	123,4
22	2064	15	20	6	64,3	77,2	6	3	105,6
23	2051	15	17,6	1,4	75,1	90,1	7	0	0
24	2052	15	20	4,7	78,6	94,3	7	1	211,44
25	2053	15	20	2,7	69,4	83,2	7	2	152,8
26	2054	15	20	6	54,1	64,9	7	3	65,6
27	2041	15	20	1,4	78,2	93,8	8	0	0
28	2042	15	20	4,7	78,2	93,8	8	1	190,76
29	2043	15	20	2,7	58,9	70,7	8	2	123,4
30	2044	15	20	6	64,3	77,2	8	3	105,6
31	2031	15	20	1,4	78,2	93,8	9	0	0
32	2032	15	20	4,7	78,2	93,8	9	1	190,76
33	2033	15	20	2,7	58,9	70,7	9	2	123,4
34	2034	15	20	6	64,3	77,2	9	3	105,6

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

35	2021	15	17,6	1,4	75,1	90,1	10	0	0
36	2022	15	20	4,7	78,6	94,3	10	1	177,76
37	2023	15	20	2,7	53,2	63,9	10	2	110,4
38	2024	15	20	6	54,1	64,9	10	3	65,6
39	2011	9	17,6	1,4	45,6	54,7	11	0	0
40	2012	15	20	4,7	77,9	93,4	11	1	313,2
41	2013	15	20	2,7	47,0	56,4	11	2	110,4
42	2014	15	20	6	62,9	75,5	11	3	65,6
43	2001	15	10	3	50,6	60,7	12	0	0
44	2003	15	20	3	75,0	90,0	12	2	353,2
45	2004	15	20	6	24,1	29,0	12	3	105,6
46	2005	12	19	3	54,5	65,4	11	4	59,92
47	2025	15	20	6	53,3	63,9	13	0	0
48	2026	12	19	6	49,4	59,3	13	1	83,3
49	2027	12	19	6	53,6	64,3	13	2	59,12
50	2035	15	20	6	52,8	63,4	14	0	0
51	2036	15	19	6	52,8	63,4	14	1	65,6
52	2037	15	19	6	64,0	76,8	14	2	65,6
53	2055	15	20	6	62,2	74,7	15	0	0
54	2056	15	19	6	62,2	74,7	15	1	101,6
55	2057	15	19	6	53,6	64,3	15	2	101,6
56	2055	15	20	6	52,8	63,4	16	0	0
57	2056	15	19	6	52,8	63,4	16	1	65,6
58	2057	15	19	6	53,6	64,3	16	2	65,6
59	2065	15	20	6	52,8	63,4	17	0	0
60	2066	15	19	6	52,8	63,4	17	1	65,6
61	2067	15	19	6	64,0	76,8	17	2	65,6
62	2075	15	20	6	62,2	74,7	18	0	0
63	2076	15	19	6	53,8	64,5	18	1	101,6
64	2077	15	19	6	53,6	64,3	18	2	101,6
65	2085	15	20	6	52,8	63,4	19	0	0

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

66	2086	15	19	6	28,0	33,7	19	1	65,6
67	2087	15	19	3	53,6	64,3	19	2	86,21
68	2095	15	19	6	53,8	64,5	20	0	0
69	2096	15	19	6	48,2	57,9	20	1	65,6
70	2104	15	19	6	50,6	60,7	21	0	0
71	2002	15	10	3	53,4	64,1	12	1	60,8

IDComponente	Descripción	Nombre	x (m)	y (m)	z (m)	Peso (t)	IDSubBloque	Nombre SubBloque	IDBloque	Secuencia	Cordón de soldadura (m)
1	Forro de fondo	OF1-051	15	9,6	0,2	18,6	23	2051	7	1	270,01
2	Forro de pantoque	1F2-051	15	4	1,4	9,3	23	2051	7	2	124,00
3	Forro de pantoque	1F3-051	15	4	1,4	9,3	23	2051	7	2	124,00
4	Doble fondo	OD1-051	15	17,6	1,4	38,0	23	2051	7	0	0,00
5	Forro costado	1F1-052	15	0,2	4,7	9,2	24	2052	7	3	65,17
6	Forro costado	1F2-052	15	0,2	4,7	9,2	24	2052	7	3	65,17
7	Doble costado	OL1-052	15	0,2	4,7	7,2	24	2052	7	2	63,65
8	Doble costado	OL2-052	15	0,2	4,7	7,2	24	2052	7	2	63,65
9	Mamparo trans	OT1-052	0,2	20	4,7	8,4	24	2052	7	1	65,00
10	Mamparo long tanque	OL3-052	15	0,2	4,7	7,2	24	2052	7	2	63,65
11	Cubierta 2	OC1-052	15	20	0,2	30,2	24	2052	7	0	0,00
12	Cubierta 3	OC1-053	15	20	0,2	30,9	25	2053	7	0	0,00
13	Forro costado	OF1-053	15	0,2	2,7	6,0	25	2053	7	3	64,47
14	Forro costado	OF2-053	15	0,2	2,7	6,0	25	2053	7	3	64,47
15	Mamparo trans	OT1-053	0,2	20	2,7	10,2	25	2053	7	1	73,00
16	Mamparo trans tanque	OT2-053	0,2	15,2	2,7	7,8	25	2053	7	1	50,40
17	Mamparo long tanque	OL1-053	15	3	2,7	4,2	25	2053	7	2	57,97
18	Mamparo long tanque	OL2-053	15	3	2,7	4,2	25	2053	7	2	57,97
19	Cubierta 4	OC1-054	15	20	0,2	17,5	26	2054	7	0	0,00
20	Cubierta 5	OC2-054	15	20	0,2	17,5	26	2054	7	2	70,60

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

21	Forro costado	OF1-054	15	0,2	6	9,5	26	2054	7	1	37,60
22	Forro costado	OF2-054	15	0,2	6	9,5	26	2054	7	1	37,60
23	Cubierta 6	OC1-055	15	20	0,2	17,5	56	2055	16	2	65,60
24	Cubierta 7	OC2-055	15	19	0,2	16,8	56	2055	16	0	0,00
25	Forro costado	OF1-055	15	0,2	3	4,8	56	2055	16	3	34,80
26	Forro costado	OF2-055	15	0,2	3	4,8	56	2055	16	3	34,80
27	Forro costado	OF3-055	15	0,2	3	4,8	56	2055	16	1	34,80
28	Forro costado	OF4-055	15	0,2	3	4,8	56	2055	16	1	34,80
29	Cubierta 8	OC1-056	15	19	0,2	16,8	57	2056	16	2	65,60
30	Cubierta 9	OC2-056	15	19	0,2	16,8	57	2056	16	0	0,00
31	Forro costado	OF1-056	15	0,2	3	4,8	57	2056	16	3	34,80
32	Forro costado	OF2-056	15	0,2	3	4,8	57	2056	16	3	34,80
33	Forro costado	OF3-056	15	0,2	3	4,8	57	2056	16	1	34,80
34	Forro costado	OF4-056	15	0,2	3	4,8	57	2056	16	1	34,80
35	Cubierta 10	OC1-057	15	19	0,2	16,8	58	2057	16	2	65,60
36	Cubierta Superior	OC2-057	15	19	0,2	16,8	58	2057	16	0	0,00
37	Forro costado	OF1-057	15	0,2	3	4,8	58	2057	16	3	34,80
38	Forro costado	OF2-057	15	0,2	3	4,8	58	2057	16	3	34,80
39	Forro costado	OF3-057	15	0,2	3	4,8	58	2057	16	1	34,80
40	Forro costado	OF4-057	15	0,2	3	4,8	58	2057	16	1	34,80
41	Forro de fondo	OF1-041	15	9,6	0,2	18,6	27	2041	8	1	450,01
42	Forro de pantoque	1F2-041	15	4	1,4	9,3	27	2041	8	2	124,00
43	Forro de pantoque	1F3-041	15	4	1,4	9,3	27	2041	8	2	124,00
44	Doble fondo	OD1-041	15	17,6	1,4	41,1	27	2041	8	0	0,00
45	Forro costado	1F1-042	15	0,2	4,7	11,0	28	2042	8	3	81,67
46	Forro costado	1F2-042	15	0,2	4,7	11,0	28	2042	8	3	81,67
47	Doble costado	OL1-042	7,5	0,2	4,7	4,2	28	2042	8	2	63,25
48	Doble costado	OL2-042	7,5	0,2	4,7	4,2	28	2042	8	2	63,25
49	Mamparo trans	OT1-042	0,2	20	4,7	8,4	28	2042	8	1	65,00
50	Cubierta 2	OC1-042	15	20	0,2	39,3	28	2042	8	0	0,00
51	Cubierta 3	OC1-043	15	20	0,2	39,3	29	2043	8	0	0,00

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

52	Forro costado	OF1-043	15	0,2	2,7	7,0	29	2043	8	2	80,97
53	Forro costado	OF2-043	15	0,2	2,7	7,0	29	2043	8	2	80,97
54	Mamparo trans	OT1-043	0,2	20	2,7	5,6	29	2043	8	1	73,00
55	Cubierta 4	OC1-044	15	20	0,2	17,5	30	2044	8	0	0,00
56	Cubierta 5	OC2-044	15	20	0,2	17,5	30	2044	8	2	70,60
57	Forro costado	OF1-044	15	0,2	6	9,5	30	2044	8	1	37,60
58	Forro costado	OF2-044	15	0,2	6	9,5	30	2044	8	1	37,60
59	Mamparo trans	OT1-044	0,2	20	6	10,2	30	2044	8	3	197,94
60	Cubierta 6	OC1-045	15	20	0,2	17,5	53	2045	15	2	65,60
61	Cubierta 7	OC2-045	15	19	0,2	16,8	53	2045	15	0	0,00
62	Forro costado	OF1-045	15	0,2	3	4,8	53	2045	15	3	34,80
63	Forro costado	OF2-045	15	0,2	3	4,8	53	2045	15	3	34,80
64	Forro costado	OF3-045	15	0,2	3	4,8	53	2045	15	1	34,80
65	Forro costado	OF4-045	15	0,2	3	4,8	53	2045	15	1	34,80
66	Mamparo trans	OT1-045	0,2	20	6	10,4	53	2045	15	3	197,94
67	Cubierta 8	OC1-046	15	19	0,2	16,8	54	2046	15	2	65,60
68	Cubierta 9	OC2-046	15	19	0,2	16,8	54	2046	15	0	0,00
69	Forro costado	OF1-046	15	0,2	3	4,8	54	2046	15	3	34,80
70	Forro costado	OF2-046	15	0,2	3	4,8	54	2046	15	3	34,80
71	Forro costado	OF3-046	15	0,2	3	4,8	54	2046	15	1	34,80
72	Forro costado	OF4-046	15	0,2	3	4,8	54	2046	15	1	34,80
73	Mamparo trans	OT1-046	0,2	18	6	9,4	54	2046	15	3	189,94
74	Cubierta 10	OC1-047	15	19	0,2	16,8	55	2047	15	2	65,60
75	Cubierta Superior	OC2-047	15	19	0,2	16,8	55	2047	15	0	0,00
76	Forro costado	OF1-047	15	0,2	3	4,8	55	2047	15	3	34,80
77	Forro costado	OF2-047	15	0,2	3	4,8	55	2047	15	3	34,80
78	Forro costado	OF3-047	15	0,2	3	4,8	55	2047	15	1	34,80
79	Forro costado	OF4-047	15	0,2	3	4,8	55	2047	15	1	34,80
80	Mamparo trans	OT1-047	0,2	18	6	9,4	55	2047	15	3	189,94
81	Forro de fondo	OF1-031	15	9,6	0,2	18,6	31	2031	9	1	450,01
82	Forro de pantoque	1F2-031	15	4	1,4	9,3	31	2031	9	2	124,00

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

83	Forro de pantoque	1F3-031	15	4	1,4	9,3	31	2031	9	2	124,00
84	Doble fondo	0D1-031	15	17,6	1,4	41,1	31	2031	9	0	0,00
85	Forro costado	1F1-032	15	0,2	4,7	11,0	32	2032	9	3	81,67
86	Forro costado	1F2-032	15	0,2	4,7	11,0	32	2032	9	3	81,67
87	Doble costado	0L1-032	7,5	0,2	4,7	4,2	32	2032	9	2	63,25
88	Doble costado	0L2-032	7,5	0,2	4,7	4,2	32	2032	9	2	63,25
89	Mamparo trans	0T1-032	0,2	20	4,7	8,4	32	2032	9	1	65,00
90	Cubierta 2	0C1-032	15	20	0,2	39,3	32	2032	9	0	0,00
91	Cubierta 3	0C1-033	15	20	0,2	39,3	33	2033	9	0	0,00
92	Forro costado	0F1-033	15	0,2	2,7	7,0	33	2033	9	2	80,97
93	Forro costado	0F2-033	15	0,2	2,7	7,0	33	2033	9	2	80,97
94	Mamparo trans	0T1-033	0,2	20	2,7	5,6	33	2033	9	1	73,00
95	Cubierta 4	0C1-034	15	20	0,2	17,5	34	2034	9	0	0,00
96	Cubierta 5	0C2-034	15	20	0,2	17,5	34	2034	9	2	70,60
97	Forro costado	0F1-034	15	0,2	6	9,5	34	2034	9	1	37,60
98	Forro costado	0F2-034	15	0,2	6	9,5	34	2034	9	1	37,60
99	Mamparo trans	0T1-034	0,2	20	6	10,2	34	2034	9	3	197,94
100	Cubierta 6	0C1-035	15	20	0,2	17,5	50	2035	14	2	65,60
101	Cubierta 7	0C2-035	15	19	0,2	16,8	50	2035	14	0	0,00
102	Forro costado	0F1-035	15	0,2	3	4,8	50	2035	14	3	34,80
103	Forro costado	0F2-035	15	0,2	3	4,8	50	2035	14	3	34,80
104	Forro costado	0F3-035	15	0,2	3	4,8	50	2035	14	1	34,80
105	Forro costado	0F4-035	15	0,2	3	4,8	50	2035	14	1	34,80
106	Cubierta 8	0C1-036	15	19	0,2	16,8	51	2036	14	2	65,60
107	Cubierta 9	0C2-036	15	19	0,2	16,8	51	2036	14	0	0,00
108	Forro costado	0F1-036	15	0,2	3	4,8	51	2036	14	3	34,80
109	Forro costado	0F2-036	15	0,2	3	4,8	51	2036	14	3	34,80
110	Forro costado	0F3-036	15	0,2	3	4,8	51	2036	14	1	34,80
111	Forro costado	0F4-036	15	0,2	3	4,8	51	2036	14	1	34,80
112	Cubierta 10	0C1-037	15	19	0,2	16,8	52	2037	14	2	65,60
113	Cubierta Superior	0C2-037	15	19	0,2	16,8	52	2037	14	0	0,00

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

114	Forro costado	OF1-037	15	0,2	3	4,8	52	2037	14	3	34,80
115	Forro costado	OF2-037	15	0,2	3	4,8	52	2037	14	3	34,80
116	Forro costado	OF3-037	15	0,2	3	4,8	52	2037	14	1	34,80
117	Forro costado	OF4-037	15	0,2	3	4,8	52	2037	14	1	34,80
118	Forro de fondo	OF1-021	15	9,6	0,2	18,6	35	2021	10	1	270,01
119	Forro de pantoque	1F2-021	15	4	1,4	9,3	35	2021	10	2	124,00
120	Forro de pantoque	1F3-021	15	4	1,4	9,3	35	2021	10	2	124,00
121	Doble fondo	OD1-021	15	17,6	1,4	38,0	35	2021	10	0	0,00
122	Forro costado	1F1-022	15	0,2	4,7	9,2	36	2022	10	3	65,17
123	Forro costado	1F2-022	15	0,2	4,7	9,2	36	2022	10	3	65,17
124	Doble costado	OL1-022	15	0,2	4,7	7,2	36	2022	10	2	63,65
125	Doble costado	OL2-022	15	0,2	4,7	7,2	36	2022	10	2	63,65
126	Mamparo trans	OT1-022	0,2	20	4,7	8,4	36	2022	10	1	65,00
127	Mamparo long tanque	OL3-022	15	0,2	4,7	7,2	36	2022	10	2	63,65
128	Cubierta 2	OC1-022	15	20	0,2	30,2	36	2022	10	0	0,00
129	Cubierta 3	OC1-023	15	20	0,2	30,9	37	2023	10	0	0,00
130	Forro costado	OF1-023	15	0,2	2,7	6,0	37	2023	10	2	59,07
131	Forro costado	OF2-023	15	0,2	2,7	6,0	37	2023	10	2	59,07
132	Mamparo trans	OT1-023	0,2	20	2,7	10,2	37	2023	10	1	73,00
133	Cubierta 4	OC1-024	15	20	0,2	17,5	38	2024	10	0	0,00
134	Cubierta 5	OC2-024	15	20	0,2	17,5	38	2024	10	2	70,60
135	Forro costado	OF1-024	15	0,2	6	9,5	38	2024	10	1	37,60
136	Forro costado	OF2-024	15	0,2	6	9,5	38	2024	10	1	37,60
137	Cubierta 6	OC1-025	15	20	0,2	17,6	47	2025	13	0	0,00
138	Cubierta 7	OC2-025	15	19	0,2	16,8	47	2025	13	4	68,22
139	Forro costado	OF1-025	15	0,2	3	4,5	47	2025	13	1	34,80
140	Forro costado	OF2-025	15	0,2	3	4,5	47	2025	13	1	32,80
141	Forro curvo	1F3-025	3	3	3	1,3	47	2025	13	2	15,42
142	Forro popa	OF4-025	0,2	12	3	3,3	47	2025	13	3	36,99
143	Forro curvo	1F5-025	3	3	3	1,3	47	2025	13	2	15,42
144	Forro costado	OF6-025	9	0,2	3	2,7	47	2025	13	1	20,88

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

145	Forro costado	0F7-025	9	0,2	3	2,7	47	2025	13	1	19,68
146	Cubierta 8	0C1-026	15	19	0,2	16,8	48	2026	13	4	74,69
147	Cubierta 9	0C2-026	12	19	0,2	14,0	48	2026	13	0	0,00
148	Forro costado	0F1-026	9	0,2	3	2,8	48	2026	13	5	21,84
149	Forro costado	0F2-026	9	0,2	3	2,8	48	2026	13	5	21,84
150	Forro curvo	1F3-026	3	3	3	1,3	48	2026	13	6	15,42
151	Forro curvo	1F4-026	3	3	3	1,3	48	2026	13	6	15,42
152	Forro popa	0F5-026	0,2	14	3	3,8	48	2026	13	7	53,97
153	Forro costado	0F1-026	6	0,2	3	2,0	48	2026	13	1	13,92
154	Forro costado	0F2-026	6	0,2	3	2,0	48	2026	13	1	13,92
155	Forro curvo	1F3-026	3	3	3	1,3	48	2026	13	2	15,42
156	Forro curvo	1F4-026	3	3	3	1,3	48	2026	13	2	15,42
157	Forro popa	0F5-026	0,2	14	3	3,8	48	2026	13	3	53,97
158	Cubierta 10	0C1-027	15	19	0,2	16,8	49	2027	13	3	63,97
159	Cubierta Superior	0C2-027	12	19	0,2	14,0	49	2027	13	0	0,00
160	Forro costado	0F1-027	6	0,2	3	2,0	49	2027	13	4	13,92
161	Forro costado	0F2-027	6	0,2	3	2,0	49	2027	13	4	13,92
162	Forro curvo	1F3-027	3	3	3	1,3	49	2027	13	5	15,42
163	Forro curvo	1F4-027	3	3	3	1,3	49	2027	13	5	15,42
164	Forro popa	0F5-027	0,2	14	3	3,8	49	2027	13	6	53,97
165	Forro curvo	1F3-027	6,8	3	3	2,2	49	2027	13	1	17,98
166	Forro curvo	1F4-027	6,8	3	3	2,2	49	2027	13	1	17,98
167	Forro popa	0F5-027	0,2	14	3	3,8	49	2027	13	2	53,97
168	Doble fondo	0D1-011	9	14	1,4	19,7	39	2011	11	0	0,00
169	Forro estribor	1F1-011	9	10	1,4	12,9	39	2011	11	1	207,22
170	Forro babor	1F2-011	9	10	1,4	12,9	39	2011	11	2	207,22
171	Forro costado	1F1-012	15	2	4,23	8,5	40	2012	11	3	57,27
172	Forro costado	1F2-012	15	0,2	4,23	8,5	40	2012	11	3	57,27
173	Forro fondo	1F3-012	6	14	0,2	9,9	40	2012	11	4	76,44
174	Doble costado	0L1-012	15	0,2	4,23	6,2	40	2012	11	2	62,71
175	Doble costado	0L2-012	15	0,2	4,23	6,2	40	2012	11	2	62,71

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

176	Cubierta 2	OC1-012	15	20	0,2	30,2	40	2012	11	0	0,00
177	Mamparo trans	OT1-012	0,2	20	4,7	8,4	40	2012	11	1	65,00
178	Cubierta 3	OC1-013	15	20	0,2	30,2	41	2013	11	0	0,00
179	Forro costado	OF1-013	15	0,2	2,7	5,6	41	2013	11	2	68,97
180	Forro costado	OF2-013	15	0,2	2,7	5,6	41	2013	11	2	68,97
181	Mamparo trans	OT1-013	0,2	20	2,7	5,6	41	2013	11	1	73,00
182	Cubierta 4	OC1-014	15	20	0,2	17,0	42	2014	11	0	0,00
183	Cubierta 5	OC2-014	15	20	0,2	17,0	42	2014	11	2	68,80
184	Forro costado	OF1-014	15	0,2	6	9,4	42	2014	11	1	36,08
185	Forro costado	OF2-014	15	0,2	6	9,4	42	2014	11	1	36,08
186	Mamparo trans	OT1-014	0,2	20	6	10,2	42	2014	11	3	197,94
187	Cubierta 6	OC1-015	9	20	0,2	10,0	46	2015	11	0	0,00
188	Forro costado	OF1-0,15	3	0,2	3	1,1	46	2015	11	1	6,96
189	Forro costado	OF2-015	3	0,2	3	1,1	46	2015	11	1	6,96
190	Forro curvo	1F3-015	3	3	3	2,2	46	2015	11	2	15,42
191	Forro curvo	1F4-015	3	3	3	2,2	46	2015	11	2	15,42
192	Forro popa	OF5-115	0,2	10	3	2,7	46	2015	11	3	73,97
193	Mamparo trans	OT1-015	0,2	16	3	4,8	46	2015	11	4	90,97
194	Cubierta 2	OC1-001	15	10	0,2	15,1	43	2001	12	0	0,00
195	Mamparo trans	OT1-001	0,2	10	3	3,0	43	2001	12	1	33,00
196	Forro curvo	1F1-001	15	10	3	32,5	43	2001	12	2	207,99
197	Cubierta 2	OC2-001	15	10	0,2	15,1	71	2001	12	0	0,00
198	Mamparo trans	OT2-001	0,2	10	3	3,0	71	2001	12	1	33,00
199	Forro curvo	1F2-001	15	10	3	32,5	71	2001	12	2	207,99
200	Cubierta 3	OC1-002	15	20	0,2	30,2	44	2002	12	0	0,00
201	Forro costado	OF1-002	15	0,2	2,7	5,6	44	2002	12	2	68,97
202	Forro costado	OF2-002	15	0,2	2,7	5,6	44	2002	12	2	68,97
203	Mamparo trans	OT1-002	0,2	20	2,7	5,6	44	2002	12	1	73,00
204	Forro popa	1F3-002	0,2	20	2,7	6,4	44	2002	12	1	73,00
205	Cubierta 4	OC1-003	15	20	0,2	17,0	45	2003	12	0	0,00
206	Cubierta 5	OC2-003	15	20	0,2	17,0	45	2003	12	2	68,80

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

207	Forro costado	OF1-003	15	0,2	6	9,4	45	2003	12	1	36,08
208	Forro costado	OF2-003	15	0,2	6	9,4	45	2003	12	1	36,08
209	Mamparo trans	OT1-003	0,2	20	6	10,2	45	2003	12	3	197,94
210	Forro popa	1F3-003	0,2	20	6	12,1	45	2003	12	3	197,94
211	Forro de fondo	OF1-061	15	9,6	0,2	18,6	19	2061	6	1	450,01
212	Forro de pantoque	1F2-061	15	4	1,4	9,3	19	2061	6	2	124,00
213	Forro de pantoque	1F3-061	15	4	1,4	9,3	19	2061	6	2	124,00
214	Doble fondo	OD1-061	15	17,6	1,4	41,1	19	2061	6	0	0,00
215	Forro costado	1F1-062	15	0,2	4,7	11,0	20	2062	6	3	81,67
216	Forro costado	1F2-062	15	0,2	4,7	11,0	20	2062	6	3	81,67
217	Doble costado	OL1-062	7,5	0,2	4,7	4,2	20	2062	6	2	63,25
218	Doble costado	OL2-062	7,5	0,2	4,7	4,2	20	2062	6	2	63,25
219	Mamparo trans	OT1-062	0,2	20	4,7	8,4	20	2062	6	1	65,00
220	Cubierta 2	OC1-062	15	20	0,2	39,3	20	2062	6	0	0,00
221	Cubierta 3	OC1-063	15	20	0,2	39,3	21	2063	6	0	0,00
222	Forro costado	OF1-063	15	0,2	2,7	7,0	21	2063	6	2	80,97
223	Forro costado	OF2-063	15	0,2	2,7	7,0	21	2063	6	2	80,97
224	Mamparo trans	OT1-063	0,2	20	2,7	5,6	21	2063	6	1	73,00
225	Cubierta 4	OC1-064	15	20	0,2	17,5	22	2064	6	0	0,00
226	Cubierta 5	OC2-064	15	20	0,2	17,5	22	2064	6	2	70,60
227	Forro costado	OF1-064	15	0,2	6	9,5	22	2064	6	1	37,60
228	Forro costado	OF2-064	15	0,2	6	9,5	22	2064	6	1	37,60
229	Mamparo trans	OT1-064	0,2	20	6	10,2	22	2064	6	3	197,94
230	Cubierta 6	OC1-065	15	20	0,2	17,5	59	2065	17	2	65,60
231	Cubierta 7	OC2-065	15	19	0,2	16,8	59	2065	17	0	0,00
232	Forro costado	OF1-065	15	0,2	3	4,8	59	2065	17	3	34,80
233	Forro costado	OF2-065	15	0,2	3	4,8	59	2065	17	3	34,80
234	Forro costado	OF3-065	15	0,2	3	4,8	59	2065	17	1	34,80
235	Forro costado	OF4-065	15	0,2	3	4,8	59	2065	17	1	34,80
236	Cubierta 8	OC1-066	15	19	0,2	16,8	60	2066	17	2	65,60
237	Cubierta 9	OC2-066	15	19	0,2	16,8	60	2066	17	0	0,00

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

238	Forro costado	OF1-066	15	0,2	3	4,8	60	2066	17	3	34,80
239	Forro costado	OF2-066	15	0,2	3	4,8	60	2066	17	3	34,80
240	Forro costado	OF3-066	15	0,2	3	4,8	60	2066	17	1	34,80
241	Forro costado	OF4-066	15	0,2	3	4,8	60	2066	17	1	34,80
242	Cubierta 10	OC1-067	15	19	0,2	16,8	61	2067	17	2	65,60
243	Cubierta Superior	OC2-067	15	19	0,2	16,8	61	2067	17	0	0,00
244	Forro costado	OF1-067	15	0,2	3	4,8	61	2067	17	3	34,80
245	Forro costado	OF2-067	15	0,2	3	4,8	61	2067	17	3	34,80
246	Forro costado	OF3-067	15	0,2	3	4,8	61	2067	17	1	34,80
247	Forro costado	OF4-067	15	0,2	3	4,8	61	2067	17	1	34,80
248	Forro de fondo	OF1-071	15	9,6	0,2	18,6	15	2071	5	1	270,01
249	Forro de pantoque	1F2-071	15	4	1,4	9,3	15	2071	5	2	124,00
250	Forro de pantoque	1F3-071	15	4	1,4	9,3	15	2071	5	2	124,00
251	Doble fondo	OD1-071	15	17,6	1,4	38,0	15	2071	5	0	0,00
252	Forro costado	1F1-072	15	0,2	4,7	9,2	16	2072	5	3	65,17
253	Forro costado	1F2-072	15	0,2	4,7	9,2	16	2072	5	3	65,17
254	Doble costado	OL1-072	15	0,2	4,7	7,2	16	2072	5	2	63,65
255	Doble costado	OL2-072	15	0,2	4,7	7,2	16	2072	5	2	63,65
256	Mamparo trans	OT1-072	0,2	20	4,7	8,4	16	2072	5	1	65,00
257	Mamparo long tanque	OL3-072	15	0,2	4,7	7,2	16	2072	5	2	63,65
258	Cubierta 2	OC1-072	15	20	0,2	30,2	16	2072	5	0	0,00
259	Cubierta 3	OC1-073	15	20	0,2	30,9	17	2073	5	0	0,00
260	Forro costado	OF1-073	15	0,2	2,7	6,0	17	2073	5	3	64,47
261	Forro costado	OF2-073	15	0,2	2,7	6,0	17	2073	5	3	64,47
262	Mamparo trans	OT1-073	0,2	20	2,7	10,2	17	2073	5	1	73,00
263	Mamparo trans tanque	OT2-073	0,2	15,2	2,7	7,8	17	2073	5	1	50,40
264	Mamparo long tanque	OL1-073	15	3	2,7	4,2	17	2073	5	2	57,97
265	Mamparo long tanque	OL2-073	15	3	2,7	4,2	17	2073	5	2	57,97
266	Cubierta 4	OC1-074	15	20	0,2	17,5	18	2074	5	0	0,00
267	Cubierta 5	OC2-074	15	20	0,2	17,5	18	2074	5	2	70,60
268	Forro costado	OF1-074	15	0,2	6	9,5	18	2074	5	1	37,60

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

269	Forro costado	0F2-074	15	0,2	6	9,5	18	2074	5	1	37,60
270	Mamparo trans	0T1-074	0,2	20	6	10,2	18	2074	5	3	197,94
271	Cubierta 6	0C1-075	15	20	0,2	17,5	62	2075	18	2	65,60
272	Cubierta 7	0C2-075	15	19	0,2	16,8	62	2075	18	0	0,00
273	Forro costado	0F1-075	15	0,2	3	4,8	62	2075	18	3	34,80
274	Forro costado	0F2-075	15	0,2	3	4,8	62	2075	18	3	34,80
275	Forro costado	0F3-075	15	0,2	3	4,8	62	2075	18	1	34,80
276	Forro costado	0F4-075	15	0,2	3	4,8	62	2075	18	1	34,80
277	Mamparo trans	0T1-075	0,2	20	6	10,4	62	2075	18	3	197,94
278	Cubierta 8	0C1-076	15	19	0,2	16,8	63	2076	18	2	65,60
279	Cubierta 9	0C2-076	15	19	0,2	16,8	63	2076	18	0	0,00
280	Forro costado	0F1-076	15	0,2	3	4,8	63	2076	18	3	34,80
281	Forro costado	0F2-076	15	0,2	3	4,8	63	2076	18	3	34,80
282	Forro costado	0F3-076	15	0,2	3	4,8	63	2076	18	1	34,80
283	Forro costado	0F4-076	15	0,2	3	4,8	63	2076	18	1	34,80
284	Mamparo trans	0T1-076	0,2	18	6	9,4	63	2076	18	3	189,94
285	Cubierta 10	0C1-077	15	19	0,2	16,8	64	2077	18	0	0,00
286	Cubierta Superior	0C2-077	15	19	0,2	16,8	64	2077	18	4	68,22
287	Forro costado	0F1-077	15	0,2	3	4,5	64	2077	18	1	34,80
288	Forro costado	0F2-077	15	0,2	3	4,5	64	2077	18	1	32,80
289	Forro curvo	1F3-077	3	3	3	1,3	64	2077	18	2	15,42
290	Forro popa	0F4-077	0,2	12	3	3,3	64	2077	18	3	36,99
291	Forro curvo	1F5-077	3	3	3	1,3	64	2077	18	2	15,42
292	Forro costado	0F6-077	9	0,2	3	2,7	64	2077	18	1	20,88
293	Forro costado	0F7-077	9	0,2	3	2,7	64	2077	18	1	19,68
294	Forro de fondo	0F1-061	15	9,6	0,2	18,6	11	2081	4	1	450,01
295	Forro de pantoque	1F2-061	15	4	1,4	9,3	11	2081	4	2	124,00
296	Forro de pantoque	1F3-061	15	4	1,4	9,3	11	2081	4	2	124,00
297	Doble fondo	0D1-061	15	17,6	1,4	41,1	11	2081	4	0	0,00
298	Forro costado	1F1-062	15	0,2	4,7	9,6	12	2082	4	3	81,67
299	Forro costado	1F2-062	15	0,2	4,7	9,6	12	2082	4	3	81,67

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

300	Doble costado	0L1-062	7,5	0,2	4,7	4,2	12	2082	4	2	63,25
301	Doble costado	0L2-062	7,5	0,2	4,7	4,2	12	2082	4	2	63,25
302	Mamparo trans	0T1-062	0,2	20	4,7	8,4	12	2082	4	1	65,00
303	Cubierta 2	0C1-062	15	20	0,2	39,3	12	2082	4	0	0,00
304	Cubierta 3	0C1-063	15	20	0,2	39,3	13	2083	4	0	0,00
305	Forro costado	0F1-063	15	0,2	2,7	7,0	13	2083	4	2	80,97
306	Forro costado	0F2-063	15	0,2	2,7	7,0	13	2083	4	2	80,97
307	Mamparo trans	0T1-063	0,2	20	2,7	5,6	13	2083	4	1	73,00
308	Cubierta 4	0C1-064	15	20	0,2	17,5	14	2084	4	0	0,00
309	Cubierta 5	0C2-064	15	20	0,2	17,5	14	2084	4	2	70,60
310	Forro costado	0F1-064	15	0,2	6	9,5	14	2084	4	1	37,60
311	Forro costado	0F2-064	15	0,2	6	9,5	14	2084	4	1	37,60
312	Mamparo trans	0T1-064	0,2	20	6	10,2	14	2084	4	3	197,94
313	Cubierta 6	0C1-065	15	20	0,2	17,5	65	2085	19	2	65,60
314	Cubierta 7	0C2-065	15	19	0,2	16,8	65	2085	19	0	0,00
315	Forro costado	0F1-065	15	0,2	3	4,8	65	2085	19	3	34,80
316	Forro costado	0F2-065	15	0,2	3	4,8	65	2085	19	3	34,80
317	Forro costado	0F3-065	15	0,2	3	4,8	65	2085	19	1	34,80
318	Forro costado	0F4-065	15	0,2	3	4,8	65	2085	19	1	34,80
319	Cubierta 8	0C1-066	15	19	0,2	16,8	66	2086	19	2	65,60
320	Cubierta 9	0C2-066	15	19	0,2	16,8	66	2086	19	0	0,00
321	Forro costado	0F1-066	15	0,2	3	4,8	66	2086	19	3	34,80
322	Forro costado	0F2-066	15	0,2	3	4,8	66	2086	19	3	34,80
323	Forro costado	0F3-066	15	0,2	3	4,8	66	2086	19	1	34,80
324	Forro costado	0F4-066	15	0,2	3	4,8	66	2086	19	1	34,80
325	Cubierta 10	0C1-087	15	19	0,2	16,8	67	2087	19	0	0,00
326	Forro costado	0F1-087	9	0,2	3	2,7	67	2087	19	1	20,88
327	Forro costado	0F2-087	9	0,2	3	2,7	67	2087	19	1	19,68
328	Forro curvo	1F3-087	3	3	3	1,3	67	2087	19	2	15,42
329	Forro popa	0F4-087	0,2	12	3	3,3	67	2087	19	3	36,99
330	Forro curvo	1F5-087	3	3	3	1,3	67	2087	19	2	15,42

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

331	Forro de fondo	OF1-091	15	9,85	1,4	19,0	7	2091	3	1	386,51
332	Doble fondo	OD1-091	15	9,85	1,4	27,3	7	2091	3	0	0,00
333	Forro costado	1F1-092	15	0,2	4,7	9,6	8	2092	3	3	81,67
334	Forro costado	1F2-092	15	0,2	4,7	9,6	8	2092	3	3	81,67
335	Doble costado	OL1-092	7,5	0,2	4,7	4,2	8	2092	3	2	63,25
336	Doble costado	OL2-092	7,5	0,2	4,7	4,2	8	2092	3	2	63,25
337	Mamparo trans	OT1-092	0,2	11,4	4,7	4,8	8	2092	3	1	47,80
338	Cubierta 2	OC1-092	15	20	0,2	32,5	8	2092	3	0	0,00
339	Mamparo trans tanque	OT1-092	0,2	15,1	4,7	6,3	8	2092	3	4	74,15
340	Cubierta 3	OC1-093	15	16,4	0,2	32,6	9	2093	3	0	0,00
341	Forro costado	OF1-093	15	0,2	2,7	7,0	9	2093	3	2	80,97
342	Forro costado	OF2-093	15	0,2	2,7	7,0	9	2093	3	2	80,97
343	Mamparo trans	OT1-093	0,2	12,8	2,7	3,6	9	2093	3	1	58,60
344	Cubierta 4	OC1-094	15	2,7	0,2	5,0	10	2094	3	0	0,00
345	Cubierta 5	OC2-094	15	18,5	0,2	16,4	10	2094	3	2	70,60
346	Forro costado	OF1-094	15	0,2	6	9,5	10	2094	3	1	37,60
347	Forro costado	OF2-094	15	0,2	6	9,5	10	2094	3	1	37,60
348	Mamparo trans	OT1-094	0,2	17	6	8,7	10	2094	3	3	185,94
349	Cubierta 6	OC1-095	15	20	0,2	17,5	68	2095	20	2	65,60
350	Cubierta 7	OC2-095	15	19	0,2	16,8	68	2095	20	0	0,00
351	Forro costado	OF1-095	15	0,2	3	4,8	68	2095	20	3	34,80
352	Forro costado	OF2-095	15	0,2	3	4,8	68	2095	20	3	34,80
353	Forro costado	OF3-095	15	0,2	3	4,8	68	2095	20	1	34,80
354	Forro costado	OF4-095	15	0,2	3	4,8	68	2095	20	1	34,80
355	Cubierta 8	OC1-096	15	19	0,2	16,8	69	2096	20	0	0,00
356	Cubierta 9	OC2-096	15	19	0,2	16,8	69	2096	20	4	68,22
357	Forro costado	OF1-096	15	0,2	3	4,5	69	2096	20	1	34,80
358	Forro costado	OF2-096	15	0,2	3	4,5	69	2096	20	1	32,80
359	Forro curvo	1F3-096	3	3	3	1,3	69	2096	20	2	15,42
360	Forro popa	OF4-096	0,2	12	3	3,3	69	2096	20	3	36,99
361	Forro curvo	1F5-096	3	3	3	1,3	69	2096	20	2	15,42

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

362	Forro costado	OF6-096	9	0,2	3	2,7	69	2096	20	1	20,88
363	Forro costado	OF7-096	9	0,2	3	2,7	69	2096	20	1	19,68
364	Forro fondo	1F1-101	15	4,9	1,4	9,9	4	2101	2	1	91,00
365	Forro costado	1F2-101	15	0,2	4,7	9,2	4	2101	2	5	46,60
366	Forro costado	1F3-101	15	0,2	4,7	9,2	4	2101	2	5	46,60
367	Doble fondo	OD1-101	15	4,9	1,4	9,1	4	2101	2	0	0,00
368	Cubierta 2	OC1-101	15	11,2	0,2	18,0	4	2101	2	4	86,56
369	Mamparo trans	OT1-101	0,2	3,6	4,7	1,3	4	2101	2	2	14,40
370	Doble costado	OL1-101	15	0,2	4,7	6,1	4	2101	2	3	51,08
371	Doble costado	OL2-101	15	0,2	4,7	6,1	4	2101	2	3	51,08
372	Cubierta 3	OC1-102	15	12,5	0,1	21,6	5	2102	2	0	0,00
373	Cubierta 4	OC2-102	15	14,6	0,1	18,8	5	2102	2	2	29,20
374	Forro costado	OF1-102	15	0,2	5,7	10,6	5	2102	2	3	86,68
375	Forro costado	OF2-102	15	0,2	5,7	10,6	5	2102	2	3	86,68
376	Mamparo trans	OT1-102	0,1	3,7	5,7	1,9	5	2102	2	1	7,40
377	Cubierta 5	OC1-103	15	13,85	0,1	23,8	6	2103	2	0	0,00
378	Cubierta 6	OC2-103	15	16,75	0,1	21,3	6	2103	2	2	33,50
379	Forro costado	OF1-103	15	0,2	6	11,0	6	2103	2	3	87,28
380	Forro costado	OF2-103	15	0,2	6	11,0	6	2103	2	3	87,28
381	Mamparo trans	OT1-103	0,1	14,4	6	7,5	6	2103	2	1	28,80
382	Bulbo de proa	1F1-111	15	3,6	6,1	67,2	1	2111	1	0	0,00
383	Forro curvo	1F1-112	11,5	2,32	5,7	16,8	2	2112	1	1	65,44
384	Cubierta 3	OC1-112	9,3	2,32	0,2	3,7	2	2112	1	0	0,00
385	Cubierta 4	OC2-112	11,8	7,4	0,2	8,4	2	2112	1	2	64,20
386	Forro curvo	1F1-113	15	15	6	3,7	3	2113	1	1	87,36
387	Cubierta 5	OC1-113	14	11,5	0,2	18,3	3	2113	1	0	0,00
388	Cubierta 6	OC2-113	15	15	0,2	19,4	3	2113	1	2	101,04
389	Cubierta 7	OC1-114	15	19	0,2	16,8	70	2114	21	3	63,97
390	Cubierta 8	OC2-114	9	19	0,2	11,2	70	2114	21	0	0,00
391	Forro costado	OF1-114	9	0,2	3	2,8	70	2114	21	4	19,92
392	Forro costado	OF2-114	9	0,2	3	2,8	70	2114	21	4	19,92

Anexo XIV/Tablas Estrategia Constructiva

Lucía Barreiro Varela

393	Forro curvo	1F3-114	3	3	3	1,3	70	2114	21	5	15,42
394	Forro curvo	1F4-114	3	3	3	1,3	70	2114	21	5	15,42
395	Forro popa	0F5-114	0,2	14	3	3,8	70	2114	21	6	53,97
396	Forro curvo	1F3-114	6,8	3	3	2,2	70	2114	21	1	17,98
397	Forro curvo	1F4-114	6,8	3	3	2,2	70	2114	21	1	17,98
398	Forro popa	0F5-114	0,2	14	3	3,8	70	2114	21	2	53,97



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

TRABAJO FIN DE GRADO

CURSO 2020/21

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

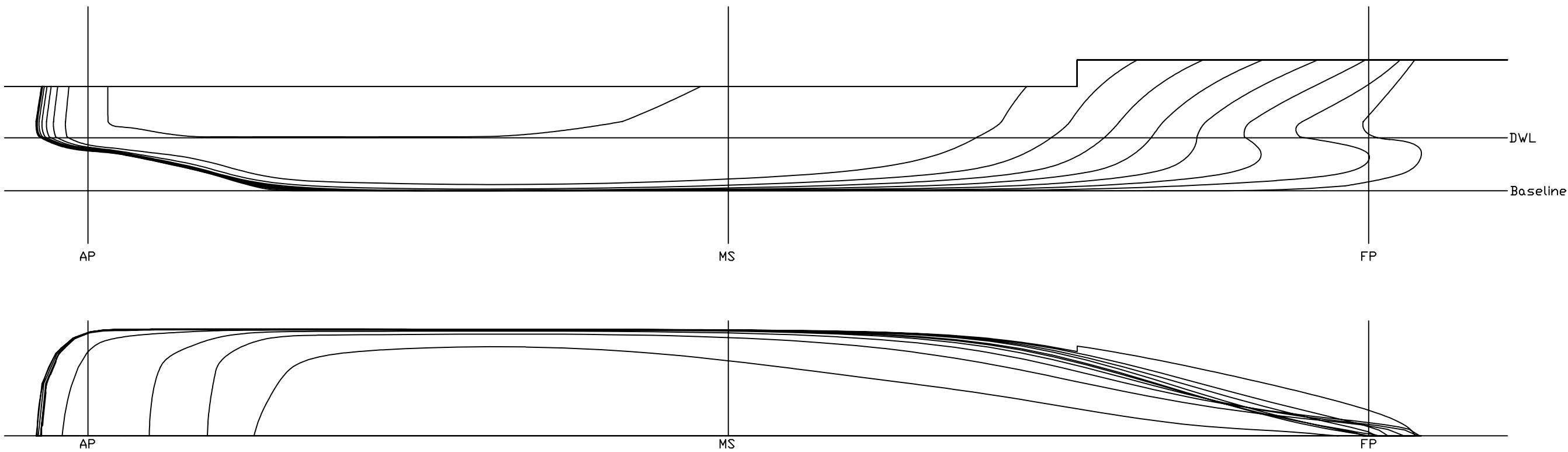
**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Documento III

PLANOS

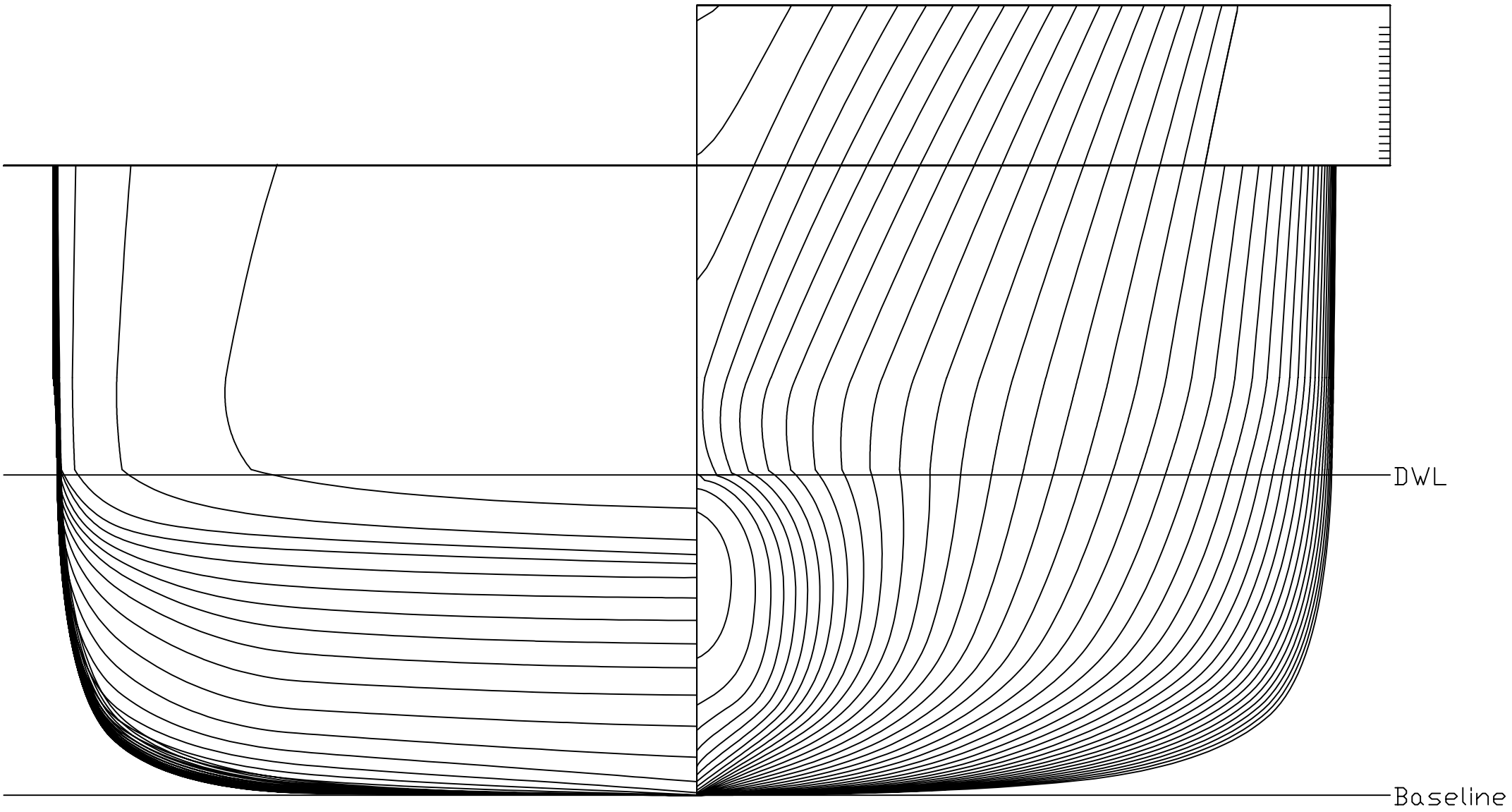
ÍNDICE

1. Plano de formas. Longitudinales y líneas de agua
2. Plano de formas. Caja de Cuadernas
3. Compartimentado buque proyecto. Vista longitudinal
4. Compartimentado buque proyecto. Cubiertas
5. Disposición general buque proyecto. Vista longitudinal, cubiertas 9 y 10
6. Disposición general buque proyecto. Cubiertas 6, 7 y 8
7. Disposición general buque proyecto. Cubiertas 3, 4 y 5
8. Disposición general buque proyecto. Doble fondo, cubiertas 1 y 2
9. Disposición general. Vista exterior.
10. Cuaderna Maestra Buque Proyecto.
11. Disposición cámara de máquinas. Cubiertas
12. Disposición cámara de máquinas. Vista longitudinal
13. Despiece en bloques y subbloques. Buque proyecto
14. Estrategia constructiva bloque 1401
15. Ejemplo anillo
16. Compartimentado. Caso de estudio 2
17. Despiece en bloques y subbloques. Caso de estudio 2
18. Compartimentado. Caso de estudio 3
19. Despiece en bloques y subbloques. Caso de estudio



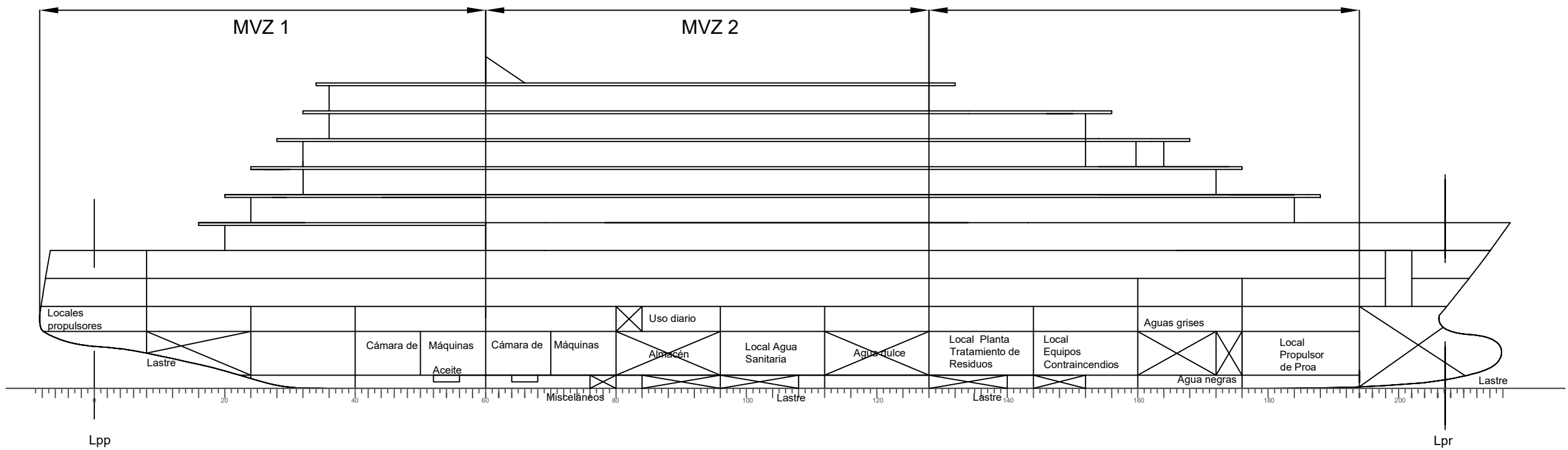
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	1	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		





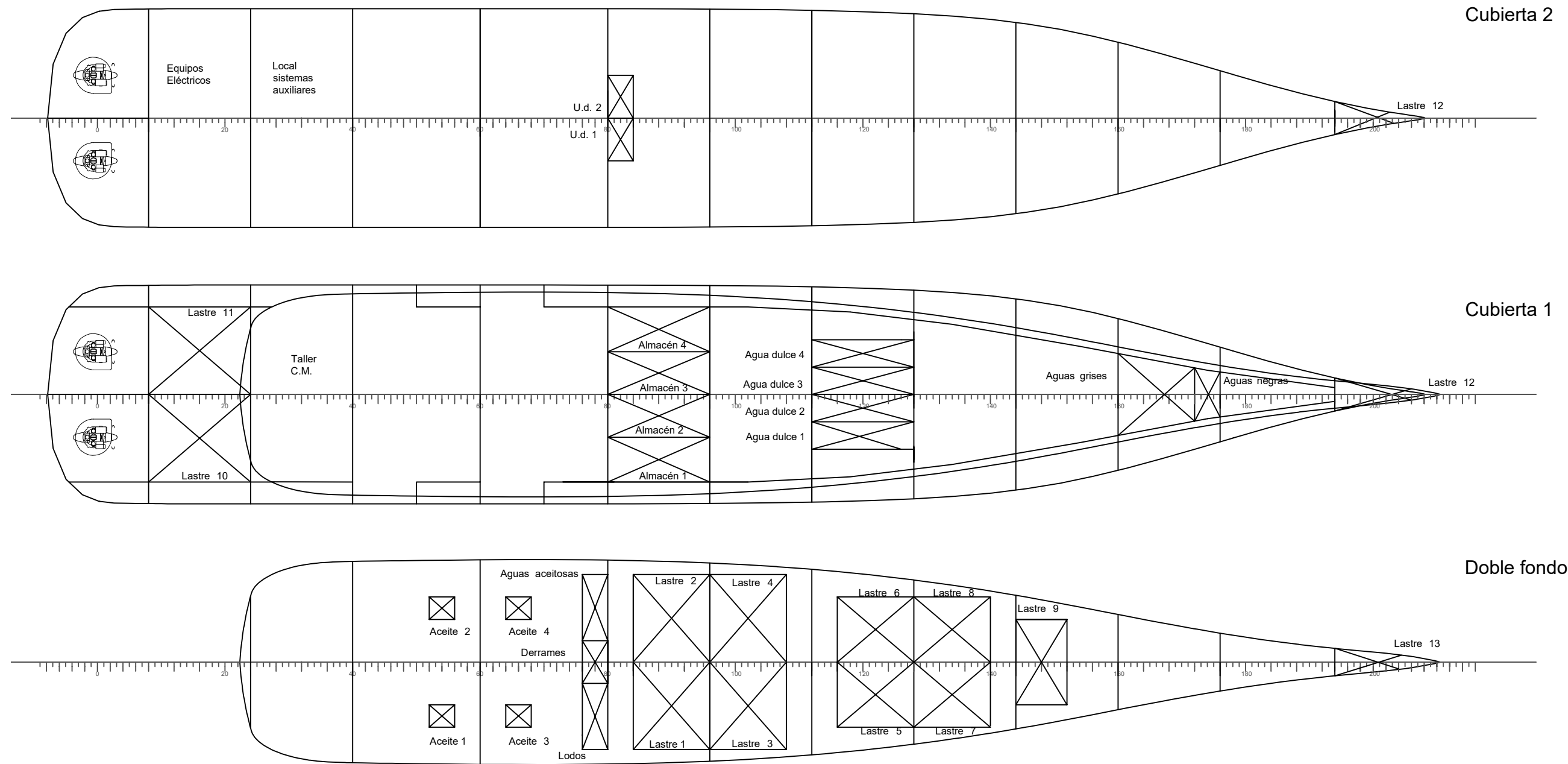
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	2	1:100
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		





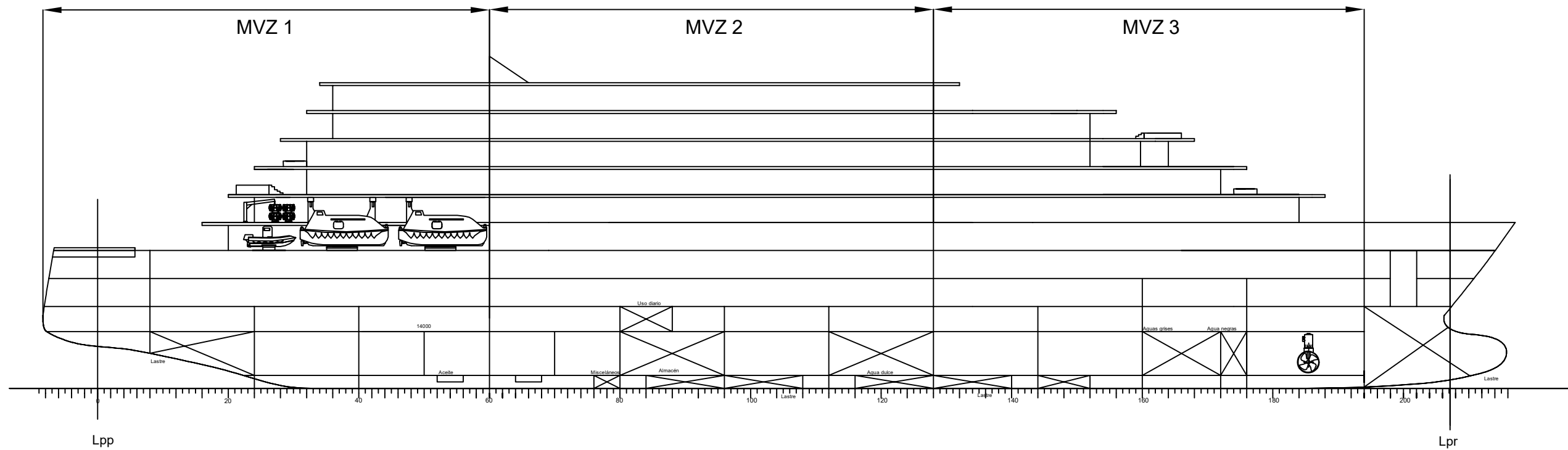
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	3	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		



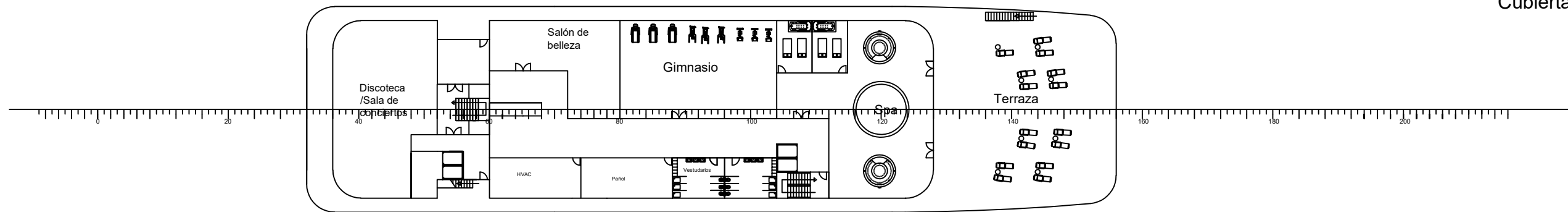


PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulaci3n del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	4	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		

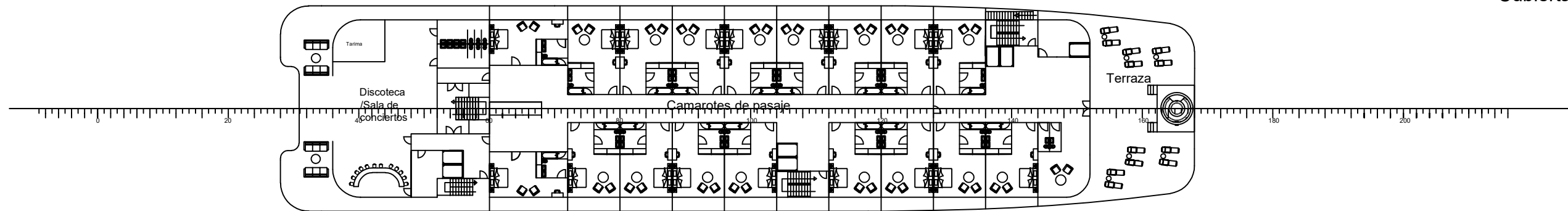




Cubierta 10

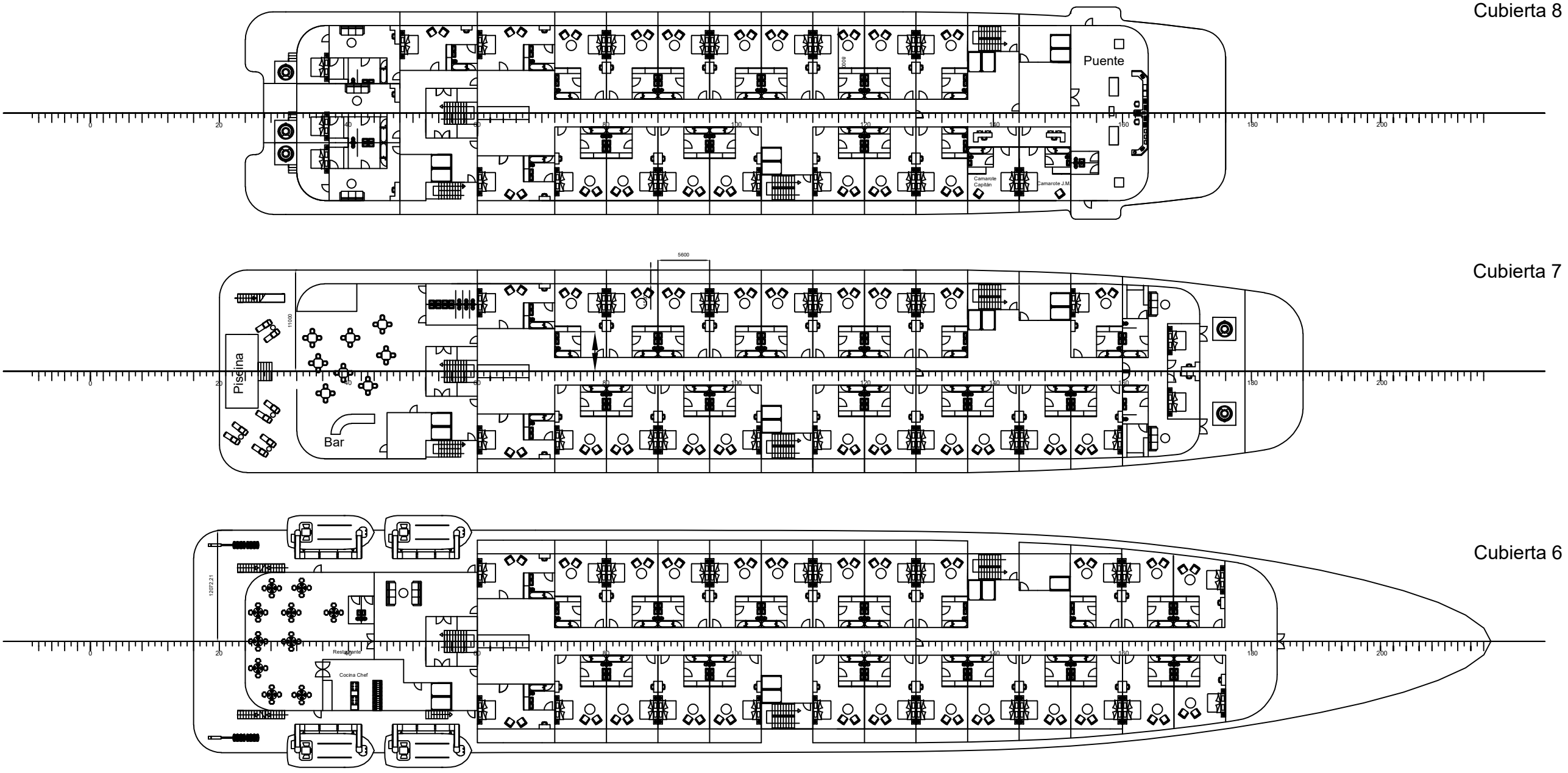


Cubierta 9



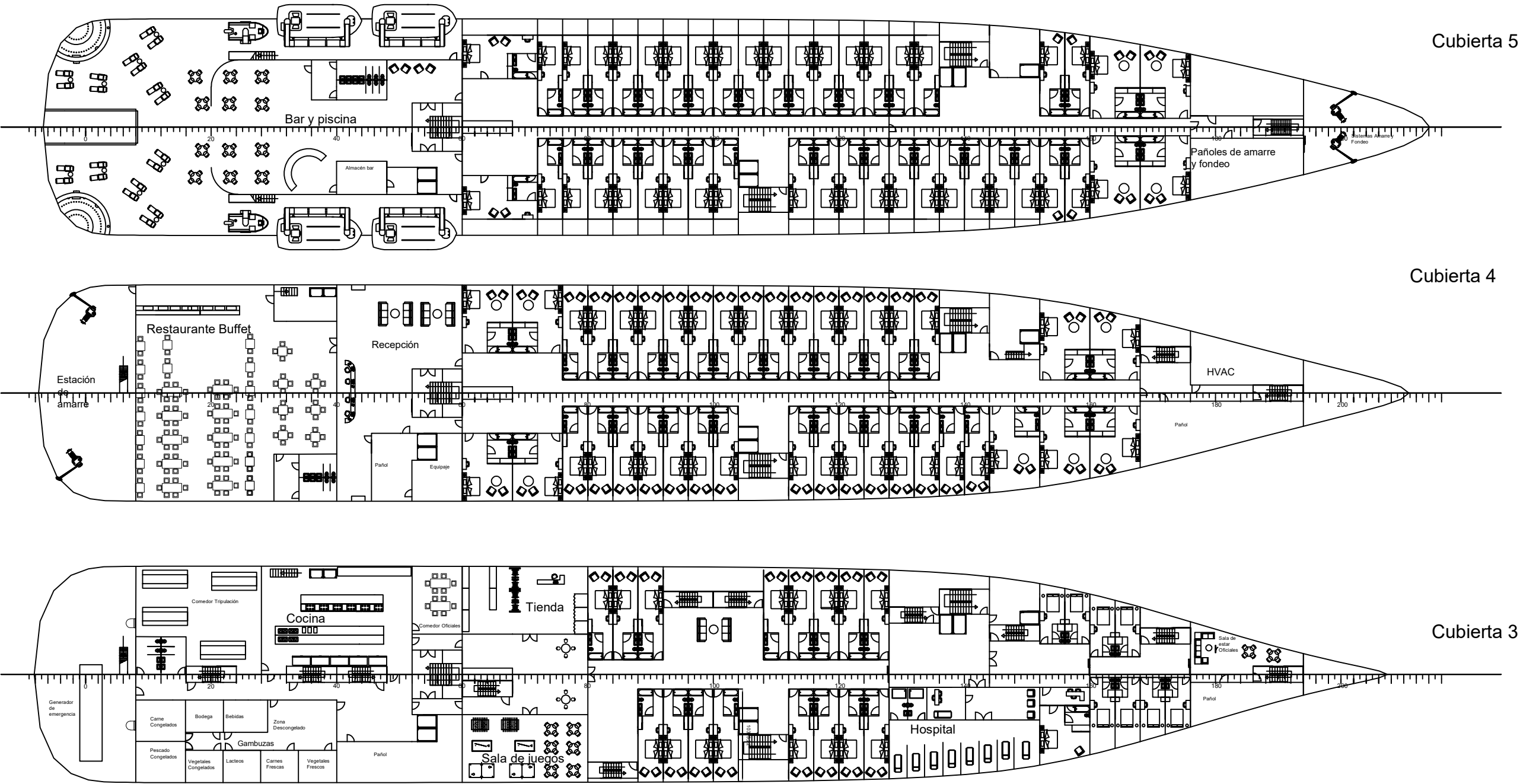
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Disposición general Vista longitudinal, cubierta 9 y 10	DOCUMENTO	N° PLANO	ESCALA
	Planos	5	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		





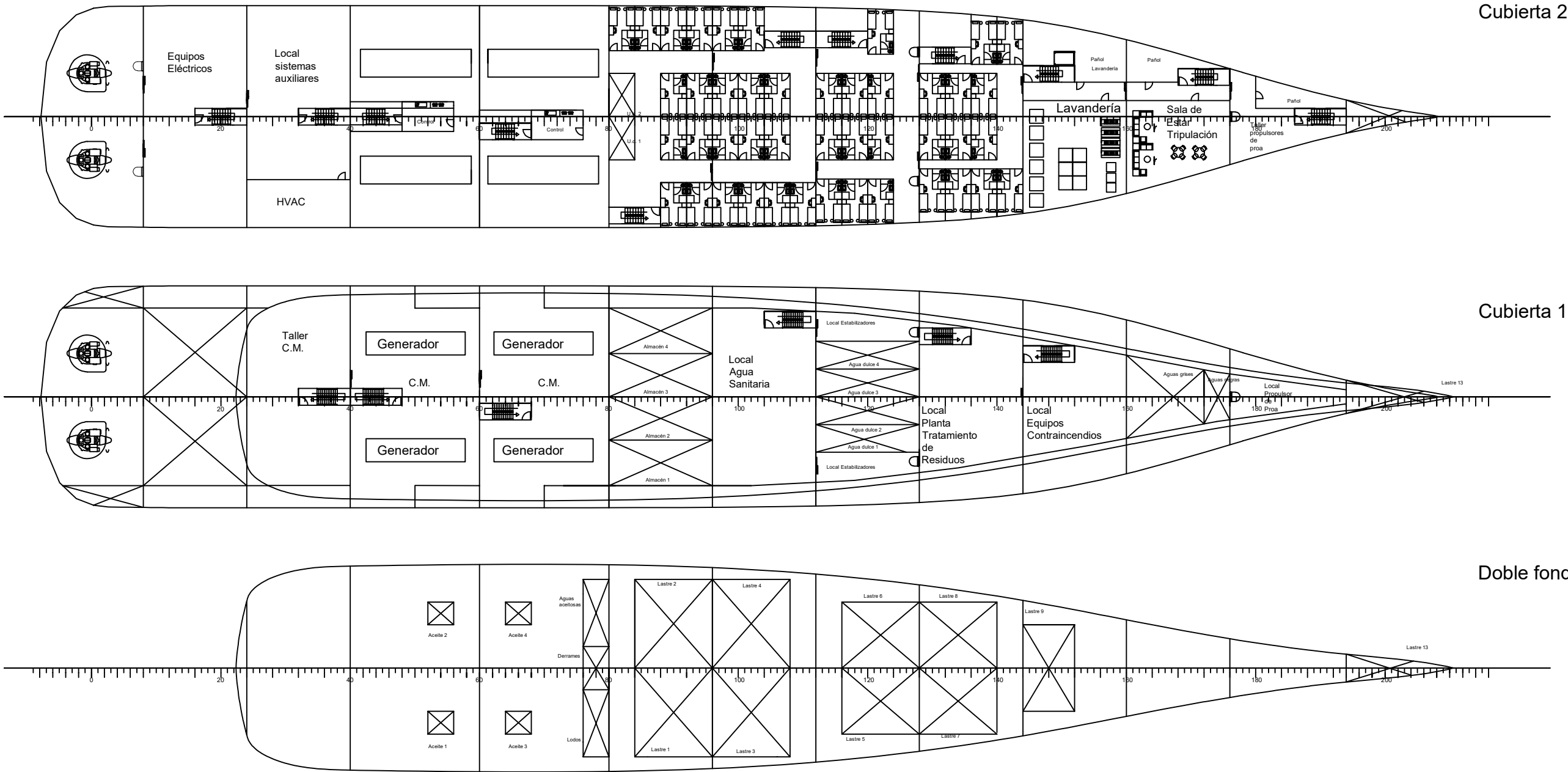
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Disposición general Cubiertas 6, 7 y 8	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	6	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		





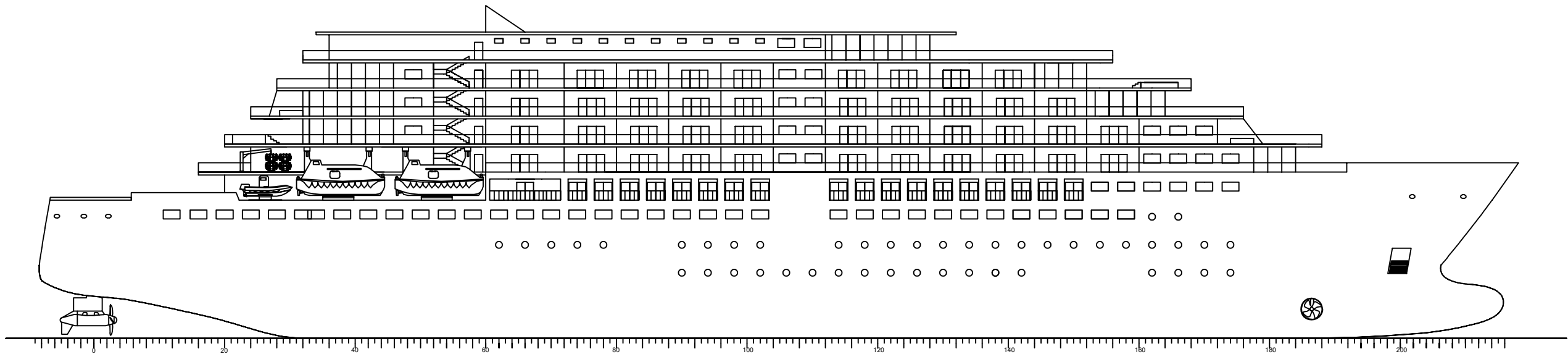
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Disposición general Cubiertas 3, 4 y 5	DOCUMENTO	N° PLANO	ESCALA
	Planos	7	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		





PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Disposición general Doble fondo, cubiertas 1 y 2	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	8	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		

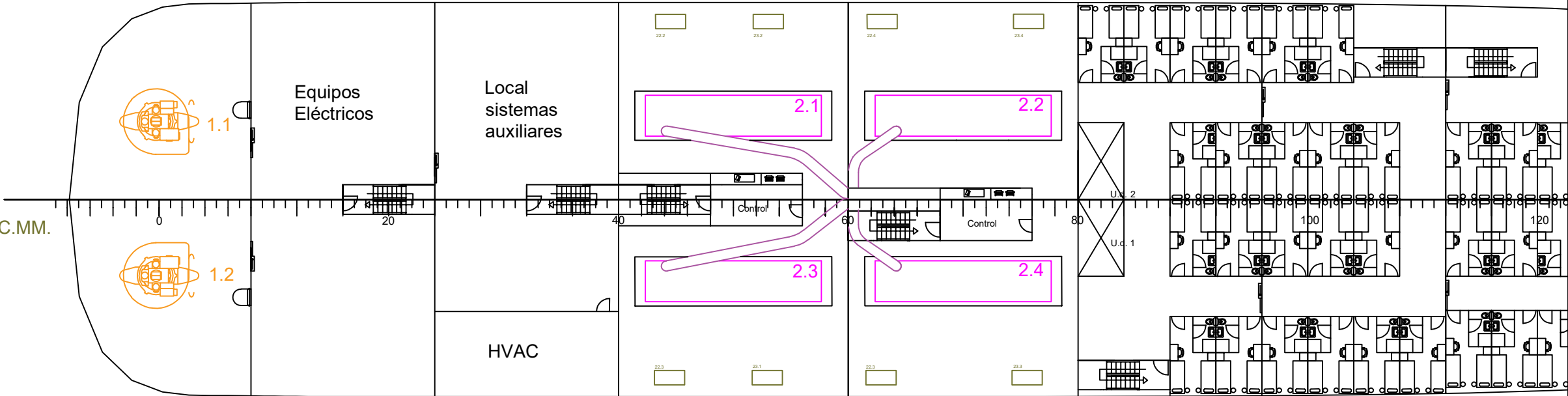




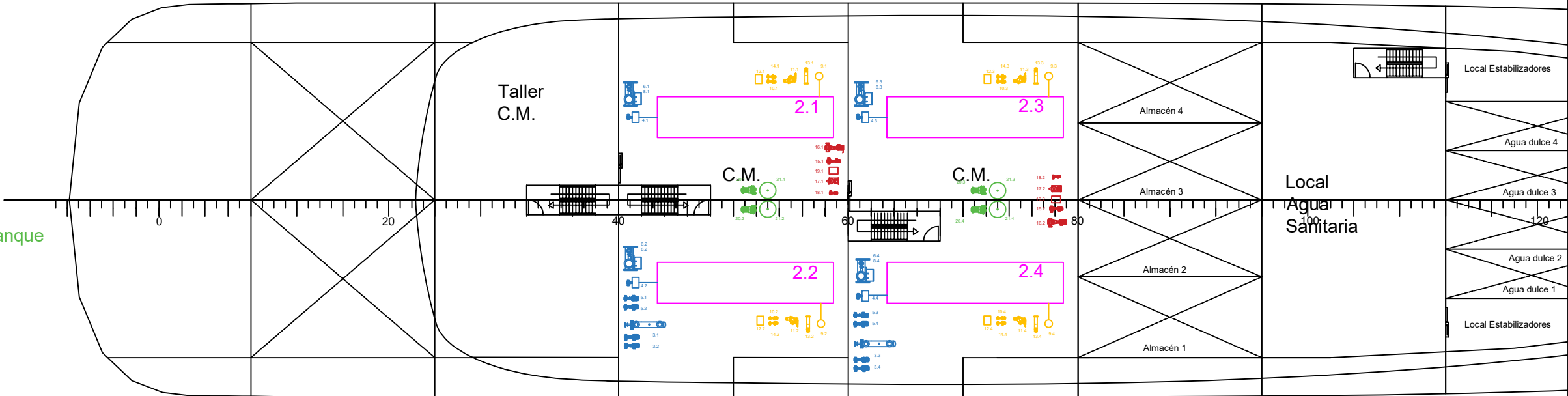
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	9	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		



- Grupos Generadores
- Propulsión
- Sistema de ventilación de CC.MM.
- Exhautación



- Grupos Generadores
- Sistema de Refrigeración
- Sistema de combustible
- Sistema de aire de aire de arranque
- Sistema de lubricación

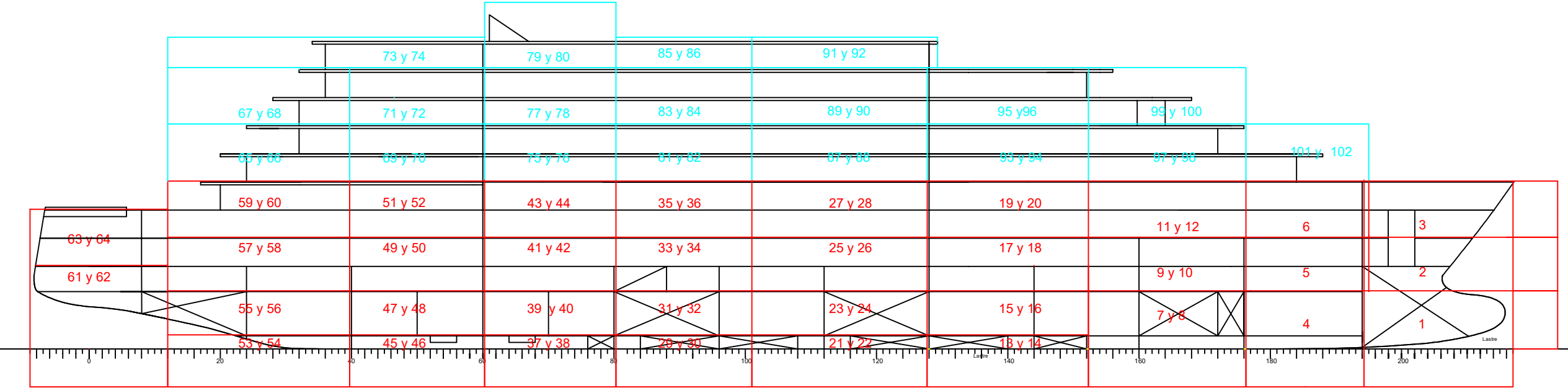
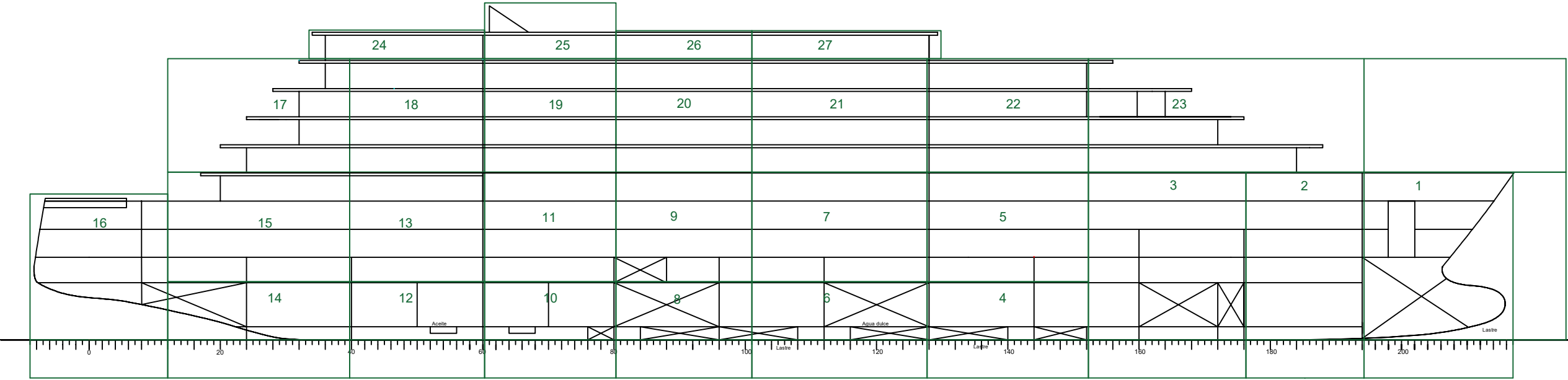


PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Disposición Cámara de Máquinas Cubiertas	DOCUMENTO	N° PLANO	ESCALA
	Planos	11	1:300
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		



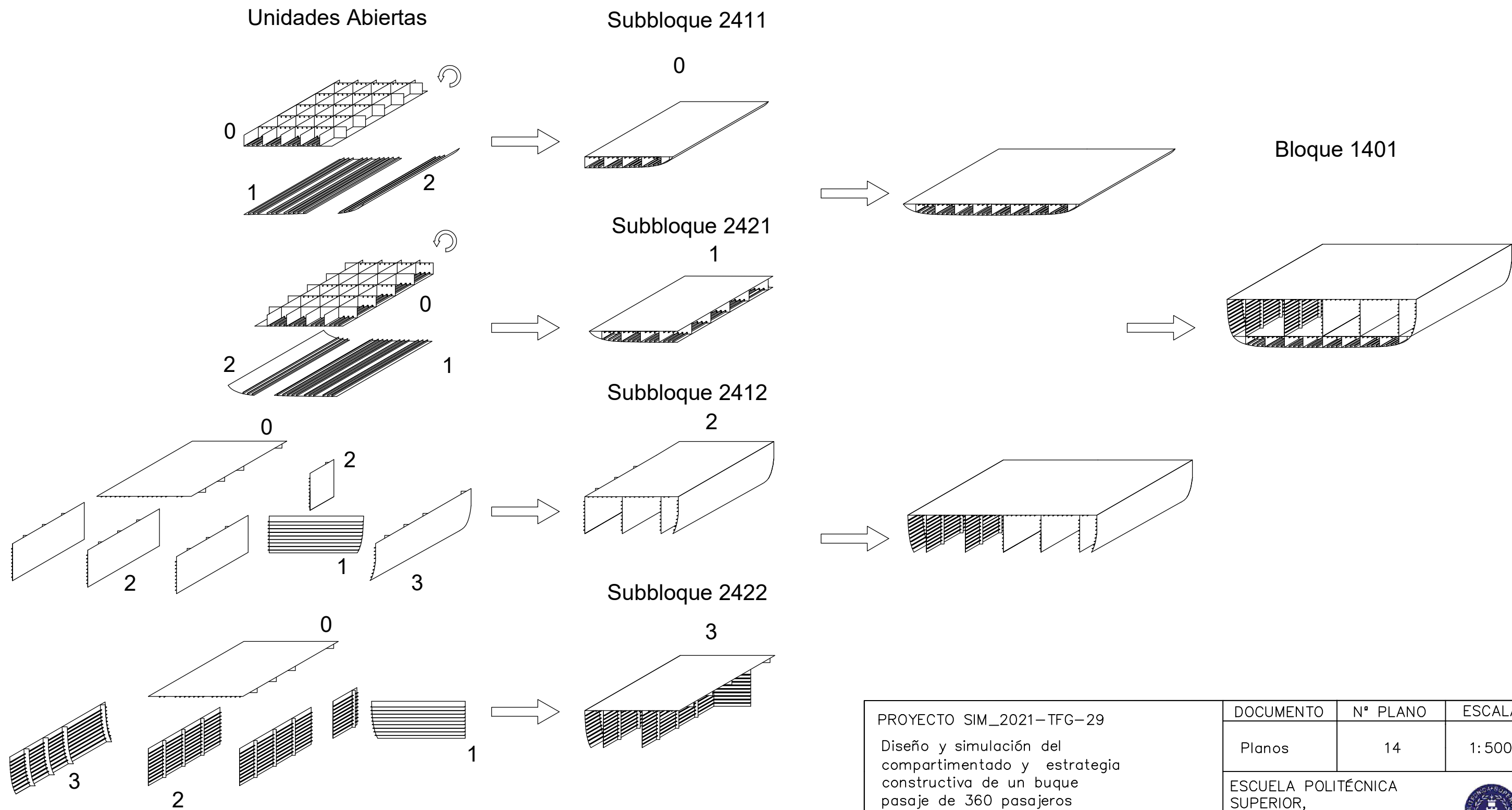


PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	12	1: 300
NOMBRE DEL PLANO Disposición Cámara de Máquinas Vista longitudinal	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		



PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Despiece en bloques y subbloques Buque proyecto	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	13	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		

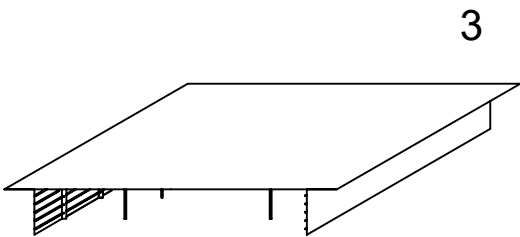




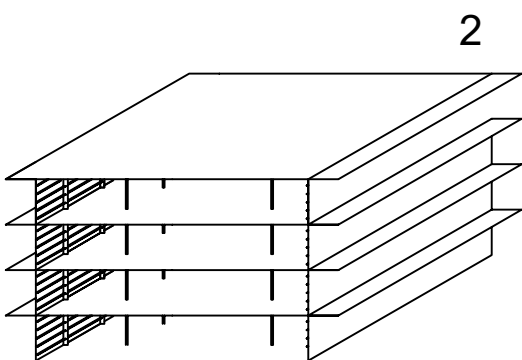
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Estrategia constructiva bloque 1401	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	14	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		



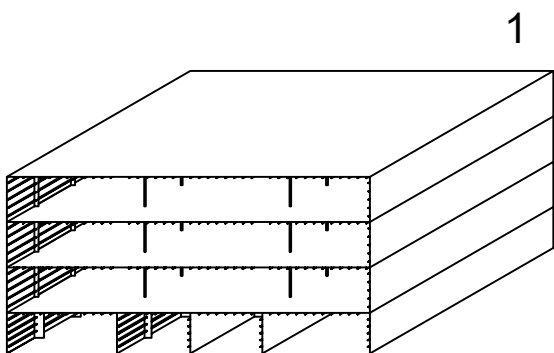
Bloque 1404



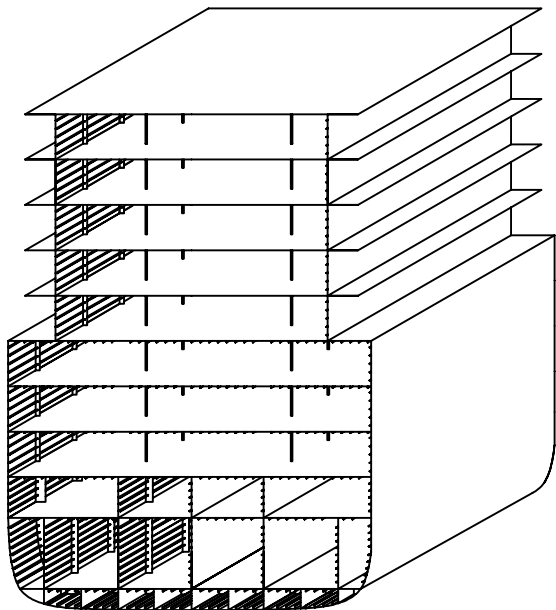
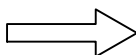
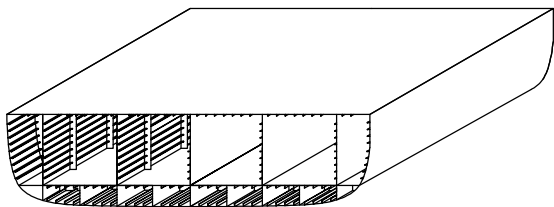
Bloque 1403



Bloque 1402

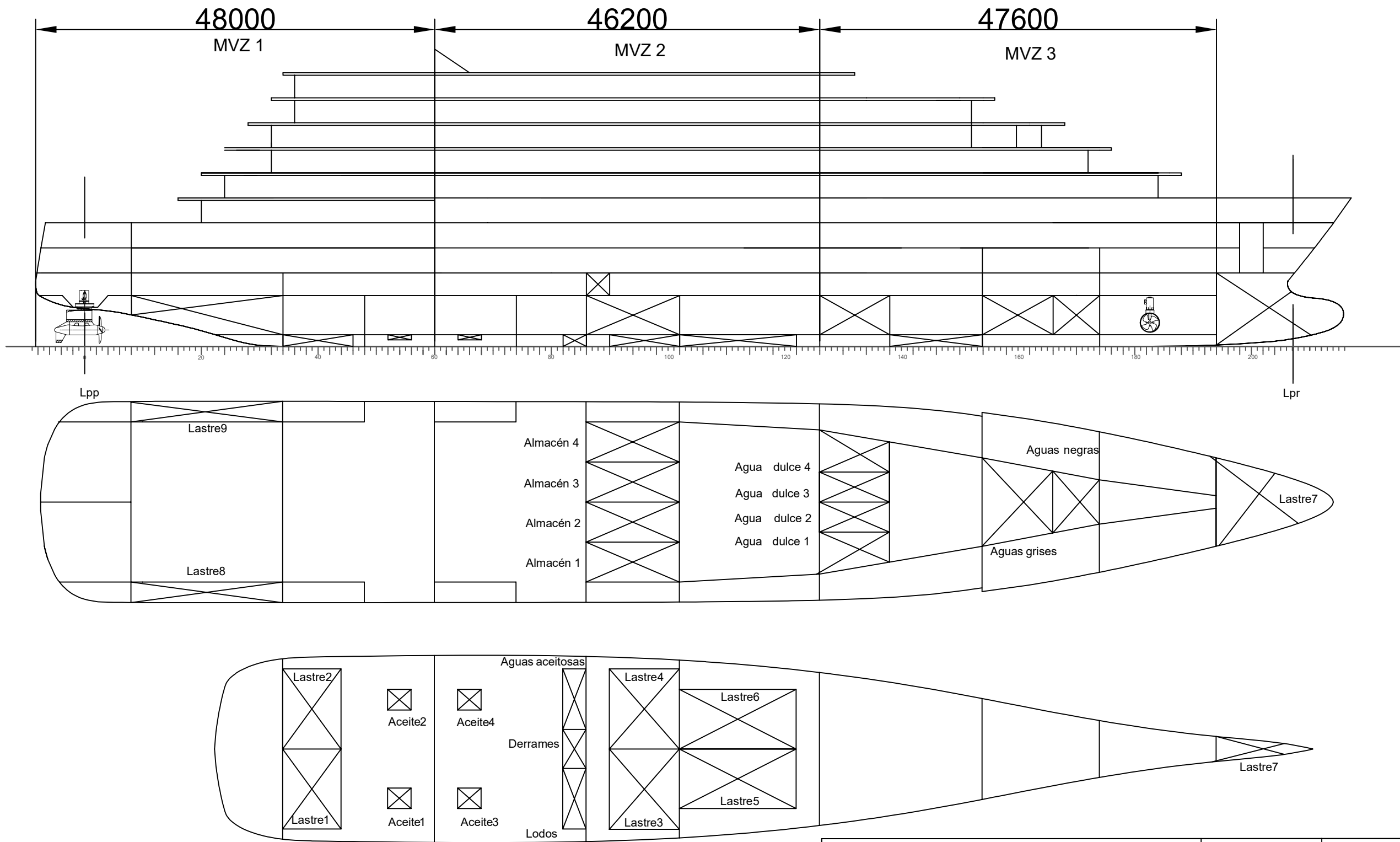


Bloque 1401



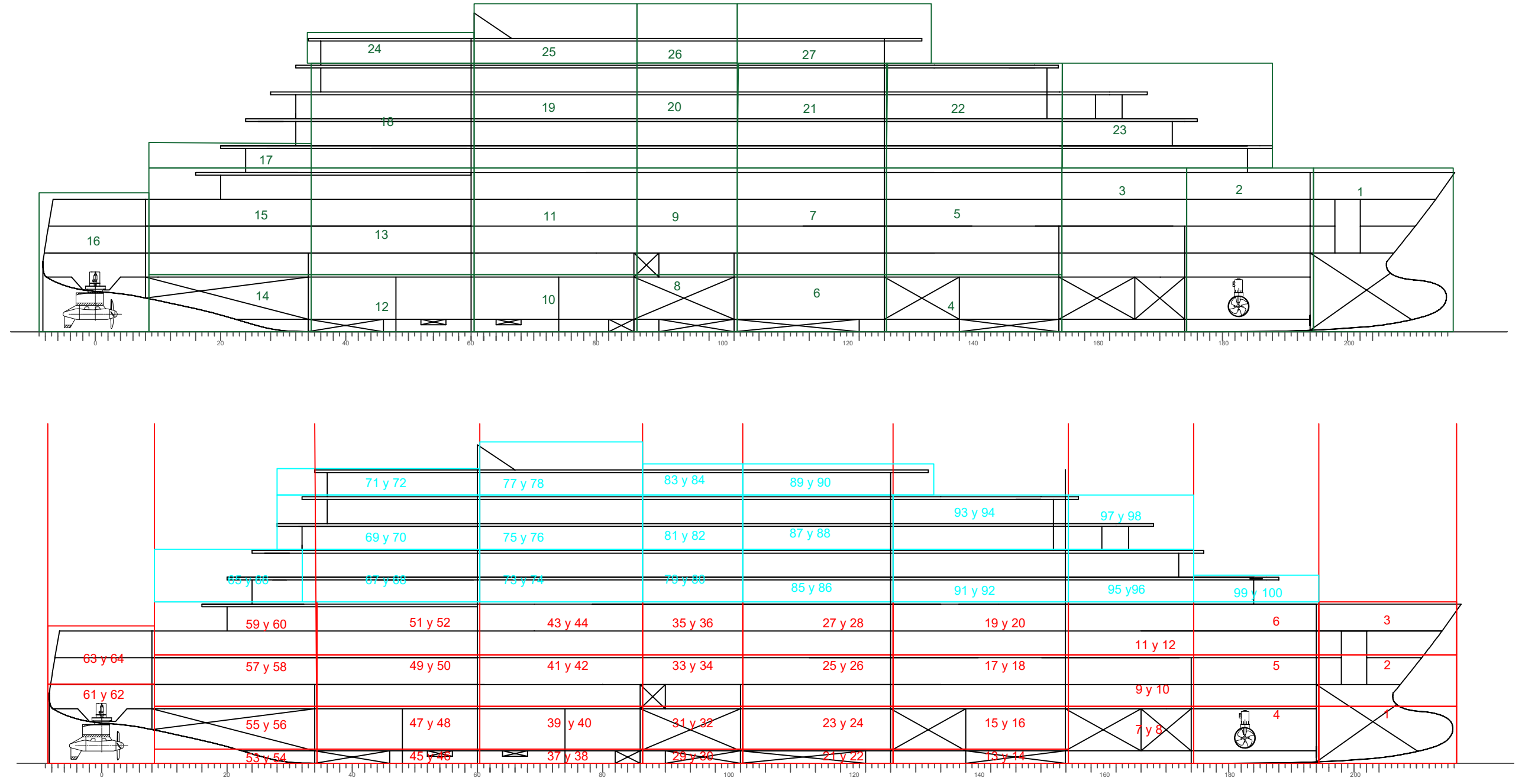
PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	15	1: 500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		



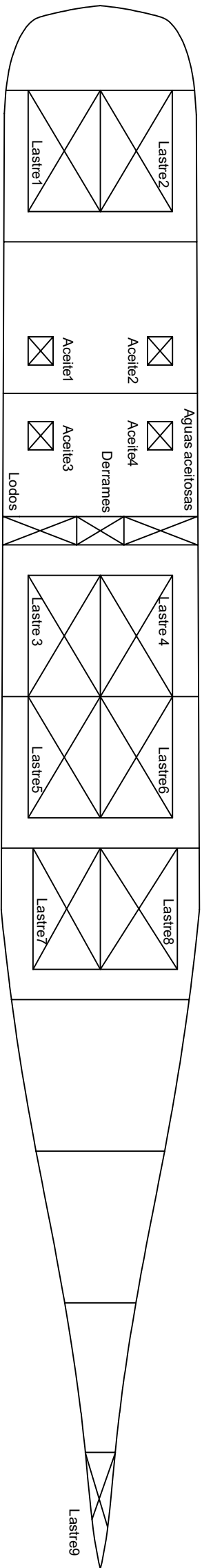
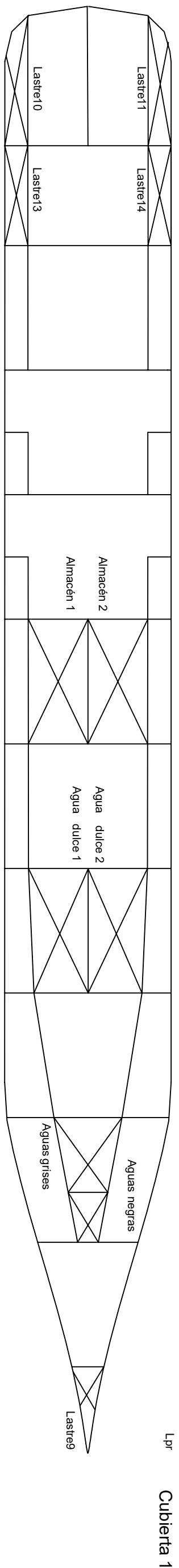
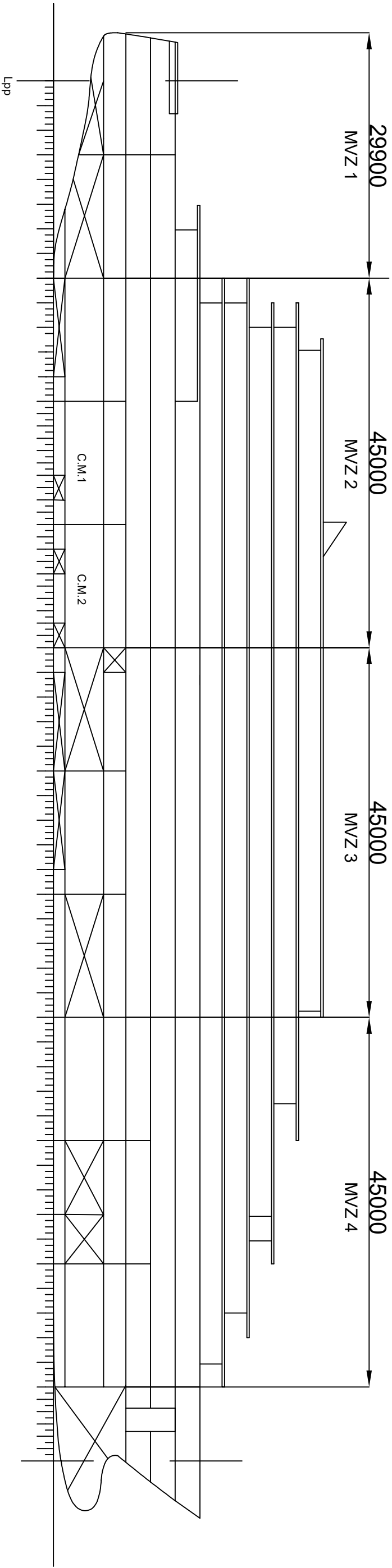


PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulaci3n del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Compartimentado Caso de estudio 2	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	16	1: 500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		





<div>PROYECTO SIM_2021–TFG–29</div> <div>Diseño y simulaci3n del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros</div> <div>NOMBRE DEL PLANO</div> <div>Despiece en bloques y subbloques Caso de estudio 2</div>	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	17	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		

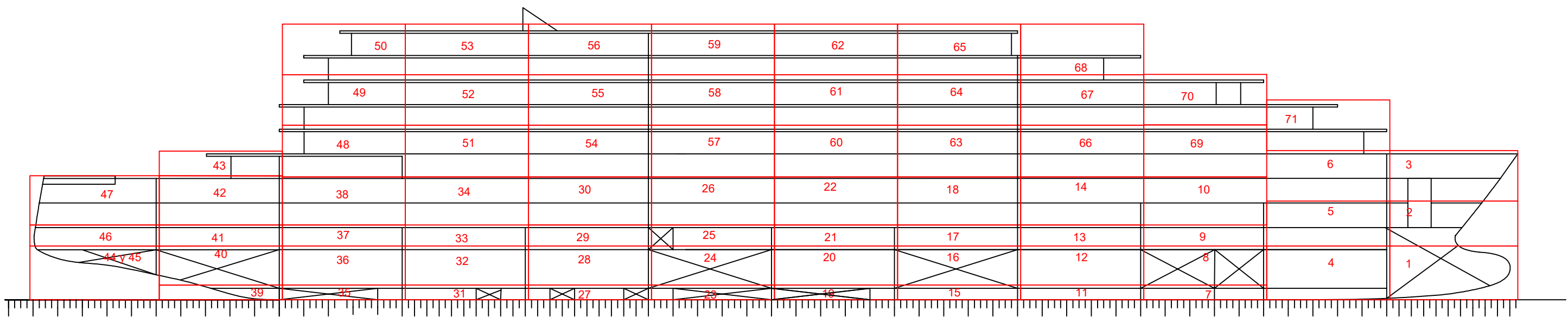
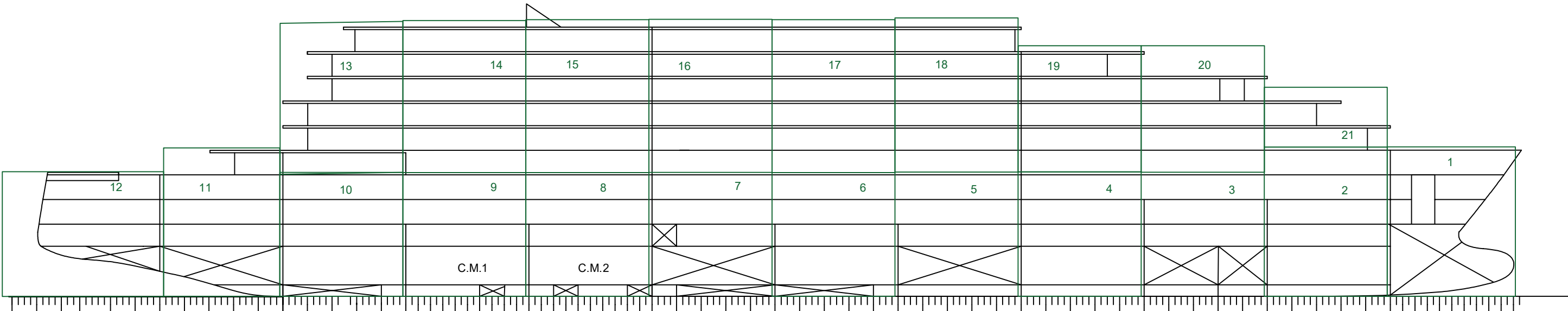


Doble fondo

Cubierta 1

PROYECTO SIM_2021-TFG-29			DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
Diseño y simulación del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros			Planos	18	1:500
NOMBRE DEL PLANO			ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
Compartimentado			AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
Caso de estudio 3			FECHA: DICIEMBRE 2020		





PROYECTO SIM_2021–TFG–29 Diseño y simulaci3n del compartimentado y estrategia constructiva de un buque pasaje de 360 pasajeros NOMBRE DEL PLANO Despiece bloques y subbloques Caso de estudio 3	DOCUMENTO	Nº PLANO	ESCALA
	Planos	19	1:500
	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR, UNIVERSIDADE DA CORUÑA		
	AUTOR: Lucía Barreiro Varela		
	FECHA: DICIEMBRE 2020		





UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Escola Politécnica Superior

**TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO 2020/21**

***DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL COMPARTIMENTADO Y
ESTRATEGIA CONSTRUCTIVA DE UN BUQUE DE
PASAJE DE 360 PASAJEROS***

**Programa de Simultaneidad del Grado en Ingeniería Mecánica y el
Grado en Ingeniería Naval y Oceánica**

Documento IV

PRESUPUESTO

ÍNDICE

1 Presupuesto.....	3
--------------------	---

1 PRESUPUESTO

A continuación, se detalla el presupuesto del proyecto de consultoría llevado a cabo. Se dividirá el presupuesto en tres capítulos: Materiales, Software y Mano de Obra de donde se obtiene el Importe de Ejecución Material y posteriormente se calcularán los porcentajes de Gastos Generales (13%) y Beneficio Industrial (6%) para conocer el Importe de Ejecución. Finalmente, solo queda por sumar al presupuesto el porcentaje correspondiente al IVA (21%) para obtener el Importe de Contrata.

C.I CAPÍTULO I. MATERIALES					
N/P	CONCEPTO	Uds.	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
	Ordenador portatil con Intel Core i7-8565U y 8 GB de RAM		1	500	500
1.1					
1.2	Disco duro SSD de 512 GB		1	80	80
	Tarjeta gráfica Intel Iris Plus		1	145	145
1.3					
IMPORTE TOTAL CAPÍTULO I					725,00 €

C.II CAPÍTULO II. SOFTWARE					
N/P	CONCEPTO	Uds.	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
2.1	Licencia FlexSim (gratuita para uso educativo)		1	0	0
2.2	Licencia AutoCAD (gratuita para uso educativo)		1	0	0
2.3	Licencia MaxSurf (gratuita para uso educativo)		1	0	0
2.4	Licencia NavCad (gratuita para uso educativo)		1	0	0
2.5	Licencia Microsoft Office (gratuita para uso educativo)		1	0	0
IMPORTE TOTAL CAPÍTULO II					- €

C.III CAPÍTULO III. MANO DE OBRA					
N/P	CONCEPTO	Uds.	Cantidad (h)	Precio (€/h)	Importe (€)
3.1	Desarrollo del Anteproyecto del Buque	Horas	337,5	40	13500
3.2	Desarrollo del Estudio	Horas	300	40	12000
IMPORTE TOTAL CAPÍTULO III					25.500,00 €

Resumen por capítulos	
Capítulo I. Materiales	725,00 €
Capítulo II. Software	0,00 €
Capítulo III. Mano de obra	25.500,00 €
IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL	26.225,00 €

IMPORTE DE EJECUCIÓN MATERIAL	26.225,00 €
13% de Gastos Generales	3.409,25 €
6% de Beneficio Industrial	1.573,50 €
IMPORTE DE EJECUCION	31.207,75 €
21% de IVA	6.553,63 €
IMPORTE DE CONTRATA	37.761,38 €

El importe de contrata finalmente resulta en la cantidad de **TREINTA Y SIETE MIL SETECIENTOS SESENTA Y UN EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS.**